UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

"APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES EN EL DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA"

Tesis presentada por la bachiller:
LARISSA GALIA YAMPASI SURCO

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO GEOFÍSICO

AREQUIPA – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

"APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES EN EL DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA"

JURADO:

PRESIDENTE : Dr. Jorge Soto Vásquez.
VOCAL : Ing. Javier Ticona Paucara.
SECRETARIO : MSc. Nino Puma Sacsi.

ASESOR : Dr. Armando Minaya Lizárraga.

AREQUIPA – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A mi madre, Rosa Surco.

A mi padre, Mateo Yampasi.

A mi tesoro, Milcer Benjamín.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios que está conmigo en cada momento de mi vida al brindarme un hermoso hijo Milcer Benjamín a quien adoro y dedico esta tesis y sea un inicio de nuestros logros que podemos alcanzar en esta vida; contigo aprendí a crecer. A mi papá Mateo y adorada mamá Rosita, quienes me ayudaron en todo este y no dejaron de creer en mi persona.

A mis amigos Alejandro Mita, por su gran apoyo incondicional un amigo como pocos; a Renzo Quispe, por la paciencia; a Frank Castillo, por la disposición de su tiempo; a mis compañeros, de la escuela de Ingeniería Geofísica, con quienes nos formamos e hicimos amistades inquebrantables.

A mis compañeros de trabajo, que me animaron durante este tiempo, cada lugar es una nueva aventura. A todas mis amigos por animarme, la lista sería interminable.

A los docentes de mi universidad sobre todo al Dr. Armando Minaya, que hoy en día, el pasar de los años conserva su semblante y carácter, al Dr Jorge Soto e Ing. Javier Ticona que están siempre dispuestos ayudar a sus alumnos que vuelven siempre a pedir más que una amistad, un consejo.

RESUMEN

La geofísica aplicada cuenta con diversos métodos uno de ellos es la resistividad eléctrica con corriente continua en su variante de Sondaje Eléctrico Vertical (SEV), este indirectamente, determina y relaciona la resistividad del suelo con parámetros hidráulicos como la permeabilidad, transmisividad y con ello puede recomendar las zonas más favorables para la exploración-explotación de aguas subterráneas, con fines de abastecer con el recurso hídrico a la población y zonas agrícolas del distrito de Sama.

Para la ejecución de los Sondajes Eléctricos Verticales se utilizó el arreglo simétrico Schlumberguer, con AB/2 de 1m a 200m, realizándose en total 21 SEVs, ubicados de forma longitudinal y transversal al Río Sama, con distancias de 1 a 3km aproximadamente del río, lo que permitiría una recarga constante del acuífero por filtración .

La zona en estudio que corresponde a los centros poblados Buena Vista y Miraflores, tiene valores de resistividad que estaría relacionada con materiales gravosos, gravillas, arenas, limos, arcillas y flujos de barros, materiales que corresponden al cuaternario reciente y probablemente a la formación Moquegua inferior, con los resultados obtenidos se determinó zonas favorables para la explotación de aguas subterráneas; están relacionados con los SEVs 02, 05, 12, 15, 16 y 19, el acuífero estaría conformado por intercalaciones de gravilla, arena y limo con resistividades entre 16Ohm-m a 45Ohm-m, que identificarían a materiales de regular a buena permeabilidad, la baja resistividad también es un indicativo de la calidad del agua, con valores de conductividad eléctrica altos que sobrepasan la normativa peruana para consumo poblacional, mayor a 1500µS/cm (Oficio Circular 677-2000-SUNASS). Por lo que se concluye que para la explotación del recurso hídrico con fines de abastecimiento poblacional esta deberá de ser tratada y con fines agrícolas, sólo se usará en cultivos tolerantes.

Palabras claves. Sondeos eléctricos verticales, perfiles geoeléctricos, resistividad, pozos y permeabilidad.

ABSTRACT

The applied geophysics has several methods, one of them is the electrical resistivity with direct current in its variant of Vertical Electrical Probe (SEV), this indirectly determines and relates the resistivity of the soil with hydraulic parameters such as permeability, transmissivity and with it recommend the most favorable areas for exploration-exploitation of groundwater, in order to supply the population and agricultural areas of the district of Sama with water resources.

For the execution of the Vertical Electrical Probes, the symmetrical arrangement Schlumberguer was used, with AB / 2 from 1m to 200m, making a total of 21 SEVs, located longitudinally and transversely to the Sama River, with distances of approximately 1 to 3km from the river, which would allow a constant recharge of the aquifer by filtration.

The area under study that corresponds to the populated centers Buena Vista and Miraflores, has resistivity values that would be related to burdensome materials, gravels, sands, silts, clays and mud flows, materials that correspond to the recent quaternary and probably to the Moquegua formation inferior, with the results obtained, favorable areas for the exploitation of groundwater were determined; they are related to SEVs 02, 05, 12, 15, 16 and 19, the aquifer would be made up of gravel, sand and silt intercalations with resistivities between 16 Ohm-m to 45 Ohm-m, which would identify materials from regular to good permeability, the Low resistivity is also an indication of water quality, which in this case is brackish with high electrical conductivity values that exceed Peruvian regulations for population consumption, greater than 1500µS / cm (Circular Office 677-2000-SUNASS). Therefore, it is concluded that for the exploitation of the water resource for the purpose of population supply, it must be treated and for agricultural purposes, it will only be used in tolerant crops.

Keywords. Vertical electric sounding, geoelectric profiles, resistivity, wells and permeability

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA ..... **i**

AGRADECIMIENTOS ..... **ii**

RESUMEN ..... **iii**

CAPÍTULO I **1**

INTRODUCCIÓN **1**

1.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD 2

1.1.1 Ubicación 2

1.2 CLIMA Y VEGETACIÓN 5

1.2.1 Clima 5

1.2.2 Vegetación 5

1.3 JUSTIFICACIÓN 6

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 6

1.5 VARIABLES 7

1.5.1 Independientes 7

1.5.2 Dependientes 7

1.5.3 Indicadores 7

1.6 OBJETIVOS 7

1.6.1 Objetivo General 7

1.6.2 Objetivos Específicos 7

1.7 METODOLOGÍA 8

1.7.1 Revisión Bibliográfica 8

1.7.2 Trabajo de Campo 8

1.7.3 Trabajo de Gabinete 8

1.8 ANTECEDENTES 9

CAPÍTULO II **10**

MARCO GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO Y ESTRUCTURAL **10**

2.1 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS 10

2.1.1 El litoral 10
2.1.2 La Cadena Costanera 10
2.1.3 El Río Sama 10
2.1.4 Terrazas 10
2.1.5 Quebradas 11
2.1.6 Planicie Aluvial 11
2.2 ESTRATIGRAFÍA 11
2.2.1 Formación Guaneros 11
2.2.2 Volcánico Chocolate 11
2.2.3 Formación Toquepala 12
2.2.4 Formación Moquegua 12
2.2.5 Formación Huaylillas 12
2.2.6 Depósitos Marinos 13
2.2.7 Depósitos Aluviales 13
2.2.8 Depósitos Eólicos 13
2.2.9 Depósitos Fluviales 13
2.2.10 Cenizas Volcánicas 14
2.2.11 Rocas Intrusivas 14
2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 14
CAPÍTULO III 18
MARCO TEÓRICO 18
3.1 PROSPECCIÓN ELÉCTRICA 18
3.1.1 Ley de Ohm 20
3.1.2 Resistividad de las Rocas 22
3.1.2.1 Factores que afectan la Resistividad de las Rocas 25
3.1.3 Dispositivos y Arreglos Electródicos 26
3.1.4 Dispositivos Tetraeléctródicos Lineales Básicos 27
3.1.5 Sondaje eléctrico Vertical – SEV 29
3.2 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS 30
3.2.1 Acuífero 30

3.2.2 Recarga de un Acuífero 34
3.2.3 Estructura de un Acuífero 35
3.2.4 Permeabilidad o Conductividad Hidráulica (K) 36
3.2.5 Transmisividad (T) 37
3.2.6 Coeficiente de Almacenamiento (S) 37
3.3 DISEÑO DE POZOS DE AGUA 36
3.3.1 Pasos para el diseño 37
3.3.2 Profundidad Total del Pozo 38
3.3.3 Entubado, ademe o encamisado 38
3.3.4 Diámetro y longitud del filtro 39
3.3.5 Selección de la abertura del filtro 39
3.4 INTERPOLACIÓN GEOESTADÍSTICA KRIGING ORDINARIO 40
3.4.1 Interpolación de Kriging 43
CAPÍTULO IV 46
INSTRUMENTAL GEOFÍSICO, ADQUISICIÓN DE DATOS EN CAMPO 46
4.1 EQUIPO Y ACCESORIOS 46
4.2 ADQUISICIÓN DE DATOS EN CAMPO 47
CAPÍTULO V 53
PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE DATOS 53
5.1 LABOR DE GABINETE 53
5.2 PROCESAMIENTO DE DATOS 54
5.2.1 Microsoft Excel y bloc de notas 56
5.2.2 Programa IPI2WIN 57
5.2.3 Elaboración de las curvas SEV 57
5.2.4 Construcción de Secciones geoeléctricas (pseudosecciones) 59
5.3 INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA 61
5.3.1 Interpretación Cualitativa 61
5.3.1.1 Sección Geológica - Geofísica A - A' 62
5.3.1.2 Sección Geológica - Geofísica B - B' 65
5.3.1.3 Sección Geológica - Geofísica C - C' 68

5.3.1.4 Sección Geológica - Geofísica D - D' 71
5.3.1.5 Sección Geológica - Geofísica E - E'..... 74
5.3.2 Interpretación Cuantitativa 77
5.4 ELABORACIÓN DE MAPAS GEOFÍSICOS..... 78
5.4.1 Mapa de Isóbatas - Techo Basamento Semipermeable 78
5.4.2 Mapa de Isópacos - Espesor del Horizonte acuífero saturado..... 81
5.4.3 Mapa de Isorresistividades - Resistividades eléctricas del horizonte Permeable Saturado..... 83
5.5 CURVAS TEÓRICAS Y SOFTWARE IPIWIN APLICADO 85
5.5.1 Elaboración de mapas de geo-resistividad 85
5.5.2 Módulo de análisis de datos..... 85
5.5.3 Resultado del análisis de los datos de resistividades para las áreas de estudio 90
CAPÍTULO VI..... 92
POZOS DE EXPLOTACIÓN..... 92
6.1 UBICACIÓN DE ZONAS FAVORABLES PARA POZOS DE EXPLOTACIÓN 92
6.1.1 Alternativas de Ubicación de Pozos de Explotación de Aguas Subterráneas..... 93
6.1.2 Diseño Preliminar de los Pozos de Explotación Propuestos..... 109
CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
BIBLIOGRAFÍA
WEBGRAFIA
ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1. Accesibilidad desde la ciudad de Tacna hasta la zona de estudio 3

Figura N°2. Vegetación a) Siempre Viva. b) Pucaspaya 6

Figura N°3. Columna estratigráfica del INGEMMET, desde Formación Chocolate entre Sama y la Yarada en la costa del departamento de Tacna 17

Figura N°4. Métodos Geoeléctricos de Prospección 18

Figura N°5. Circuito de emisión y recepción, donde A y B = Electrodos de corriente, M y N = Electrodos de potencial. 19

Figura N°6. a) Investigación a menor profundidad. B) Investigación a mayor profundidad 20

Figura N°7. Unidad de resistividad o resistencia específica 21

Figura N°8. Dispositivo Schlumberger 27

Figura N°9. Dispositivo Wenner 28

Figura N°10. Dispositivo Polo-Dipolo 28

Figura N°11. Dispositivo Dipolo-Dipolo 28

Figura N°12. Mediciones de resistividad aparente con aumento de la distancia entre electrodos de corriente y plasmados en la curva de resistividad aparente 30

Figura N°13. Ejemplo de acuífero 31

Figura N°14. Acuíferos según su estructura 33

Figura N°15. Acuíferos según su textura 33

Figura N°16. Estructura de un acuífero 36

Figura N°17. Pasos para el diseño de Pozos 38

Figura N°18. Relación variograma con covarianza 41

Figura N°19. Método de interpolación tridimensional de sondajes 43

Figura N°20. Modelos de predicción de superficie con su resultado de estándar de error después del cálculo 43

Figura N°21. Partes de un Variograma 44

Figura N°22. Clases de modelos teóricos de un variograma 45

Figura N°23. Georesistivimetro Transmisor – Receptor WargPower, Modelo G–1120 con tensión máxima, utilizado en el campo 46

Figura N°24. a) Bobinas con cables para la ejecución de los SEV. b) GPS Garmin 47

Figura N°25. Un SEV permite realizar un escaneo geoeléctrico en función de la profundidad, manteniendo el eje vertical fijo 51

Figura N°26. Proceso de interpretación de Curvas Patrón 53

Figura N°27. Formato *.dat, para el IPI2WIN 57

Figura N°28. a) Menú principal de IPI2WIN, b) Cuadro de dialogo para seleccionar el archivo 58

Figura N°29. Gráfica de la curva de campo y la modelo 58

Figura N°30. Parámetros de ajustes de la curva modelo 59

Figura N°31. Inversión de la curva modelos con los valores del campo 59

Figura N°32. Tabla de dialogo para ploteo de sección geoeléctrica 60

Figura N°33. Pseudosección creada desde el programa 60

Figura N°34. Parámetros de la pseudosección en su presentación como resultado 61

Figura N°35. Presentación de resultados 85

Figura N°36. Módulo de distribución de propiedades 86

Figura N°37. Registro de lecturas de resistividad versus profundidad 87

Figura N°38. Modelo conceptual de distribución de geo-resistividades en las zonas de poblados de Buena Vista y Miraflores en el distrito de Sama, provincia y región de Tacna**.** 88

Figura N°39. Modelo conceptual del patrón de escorrentía 89

Figura N°40. Corte horizontal del modelo de resistividad, donde se indica la presencia de agua 91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1. Coordenadas Geográficas y UTM de la zona de estudio. 2

Tabla N°2. Parámetros climáticos de la Estación Meteorológica Sama Grande – Región Tacna. 5

Tabla N°3. Cuadro resumen de la formulación del problema. 7

Tabla N°4. Resistividades del agua. 23

Tabla N°5. Resistividades de rocas ígneas y metamórficas. 23

Tabla N°6. Resistividades de rocas sedimentarias. 24

Tabla N°7. Resistividad del agua. 24

Tabla N°8. Variación de la porosidad de la roca con la edad. 24

Tabla N°9. Variación de la resistividad de las rocas con el contenido de agua 25

Tabla N°10. Valores de Permeabilidad o conductividad hidráulica representativos..... 37

Tabla N°11. Ubicación de los SEVs en el Centro Poblado Buena Vista. 48

Tabla N°12. Ubicación de los SEVs en el Centro Poblado Miraflores..... 48

Tabla N°13. Parámetro de los espaciamientos máximos y mínimos de los sondajes eléctricos verticales..... 50

Tabla N°14. Cuadro de Secciones Geoeléctricas con sus respectivos SEVs 54

Tabla N°15. Plantilla de datos geoeléctricos para SEVs tipo Schlumberger.... 56

Tabla N°16. Descripción de Horizontes. 62

Tabla N°17. Valores Sección A – A'..... 62

Tabla N°18. Valores Sección B – B'..... 65

Tabla N°19. Valores Sección C – C'. 68

Tabla N°20. Valores Sección D – D'. 71

Tabla N°21. Valores Sección E – E'..... 74

Tabla N°22. Resultados de los Sondajes Eléctricos Verticales. 77

Tabla N°23. SEV en función de la profundidad..... 79

Tabla N°24. SEV en función del espesor del acuífero. 81

Tabla N°25. Pozos Probables. 92
Tabla N°26. Ubicación de puntos Alternativos Perforación Pozo de explotación Aguas Subterráneas. 93
Tabla N°27. Tabla de pozos propuestos según prioridad y de sus resistividades. 113
Tabla N°28. Pozos propuestos. 114

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa N°01. Ubicación de la zona de estudio 4
Mapa N°02. Mapa Geológico 16
Mapa N°03. Mapa de ubicación de los sondajes eléctricos verticales 49
Mapa N°03.1. Mapa de perfiles geoeléctricos de los SEVs 55
Mapa N°04. Mapa de Isóbatas 80
Mapa N°05. Mapa de Isópacos 82
Mapa N°06. Mapa de isorresistividades 84
Mapa N°07. Ubicación de Zonas favorables para la Explotación de pozos 94

ÍNDICE DE LÁMINAS

Lámina N°01. Sección Geoeléctrica A – A' 64
Lámina N°02. Sección Geoeléctrica B – B' 67
Lámina N°03. Sección Geoeléctrica C – C' 70
Lámina N°04. Sección Geoeléctrica D – D' 73
Lámina N°05. Sección Geoeléctrica E – E' 76
Lámina N°06. Columna litológica probable Pozo PP-01..... 97
Lámina N°07. Columna litológica probable Pozo PP-02..... 98
Lámina N°08. Columna litológica probable Pozo PP-03..... 99
Lámina N°09. Columna litológica probable Pozo PP-04..... 100
Lámina N°10. Columna litológica probable Pozo PP-05..... 101
Lámina N°11. Columna litológica probable Pozo PP-06..... 102
Lámina N°12. Diseño técnico propuesto Pozo PP-01 y PP-02..... 108
Lámina N°13. Diseño técnico propuesto Pozo PP-03 109
Lámina N°14. Diseño técnico propuesto Pozo PP-04 110
Lámina N°15. Diseño técnico propuesto Pozo PP-05 111
Lámina N°16. Diseño técnico propuesto Pozo PP-06 112

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N°1. Medición en el SEV-04, orientado en dirección longitudinal al río Sama, realizado en terrenos de cultivo. 52

Fotografía N°2. Medición del SEV-21, orientado con dirección transversal a la zona de estudio, paralelo a la vía Panamericana Sur. ... 52

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los métodos geofísicos pueden distinguir el contraste entre formaciones geológicas que se encuentran ocultos en profundidad mediante algún parámetro físico y geometría, por ejemplo, en sísmica por la velocidad de transmisión de las ondas o en prospección eléctrica por la resistividad de los materiales.

En prospección eléctrica tenemos una gran variedad de técnicas eléctricas que miden de forma indirecta la resistividad de los materiales, o su inverso en tal caso es la conductividad. Las técnicas convencionales más usadas debido a su simplicidad y costos son los métodos de sondeos eléctricos verticales (SEV) por ser uno de los métodos de más confiabilidad cuando se trata de hidrogeología y la ubicación de estructuras acuíferas, así como contactos entre diferentes tipos de fluidos.

En el presente trabajo de investigación se utilizará el método de SEV en su configuración geométrica "Schlumberger Simétrico". Su aplicación de este método en campo nos dará valores de resistividades aparentes eléctricas para cada estructura geológica subsuperficial, posteriormente se aplicará la inversión geofísica, para obtener la resistividad real de las estructuras en el punto donde se ubica el sondeo; debido a que el método de SEV es unidimensional.

Con los datos obtenidos en campo, procesados en gabinete y comparados con las tablas de resistividad de las rocas se identificará los diferentes horizontes de la zona de estudio, (04 horizontes); como se muestra en los cortes geoeléctricos, se identificará la presencia del Horizonte saturado acuífero permeable.

Se determinará la ubicación de las zonas favorables para los pozos de explotación determinando la columna litológica probable de cada pozo y se elaborará una propuesta de diseño técnico para los mismos.

1.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

1.1.1 Ubicación

La zona de estudio se encuentra ubicada aguas abajo en la margen derecha del río Sama, con una altitud promedio de 400msnm., específicamente en los centros poblados de Buenavista y Miraflores; políticamente pertenece al distrito de Sama, provincia y región de Tacna; abarcando un área de 1228,23 hectáreas.

En el Mapa N°01 se observa la ubicación de la zona de estudio que tiene las siguientes coordenadas, ver tabla N°1.

Tabla N°1. Coordenadas Geográficas y UTM de la zona de estudio.

VÉRTICE	COORDENADAS UTM (WGS 1984 - ZONA 19s)	
	ESTE	NORTE
0	334 220	8’028 000
1	338 060	8’028 000
2	338 060	8’024 800
3	334 220	8’024 800

Fuente: Elaboración Propia.

1.1.2 Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio se realiza a través de la vía Panamericana Sur, partiendo de la ciudad de Tacna con dirección al distrito de Sama a 40km, llegamos al cruce Sama Las Yaras – Sama Inclán, y se desvía a la izquierda por una vía asfaltada en dirección a Sama Las Yaras donde se ubica la zona a evaluar, ver figura N°1.

.

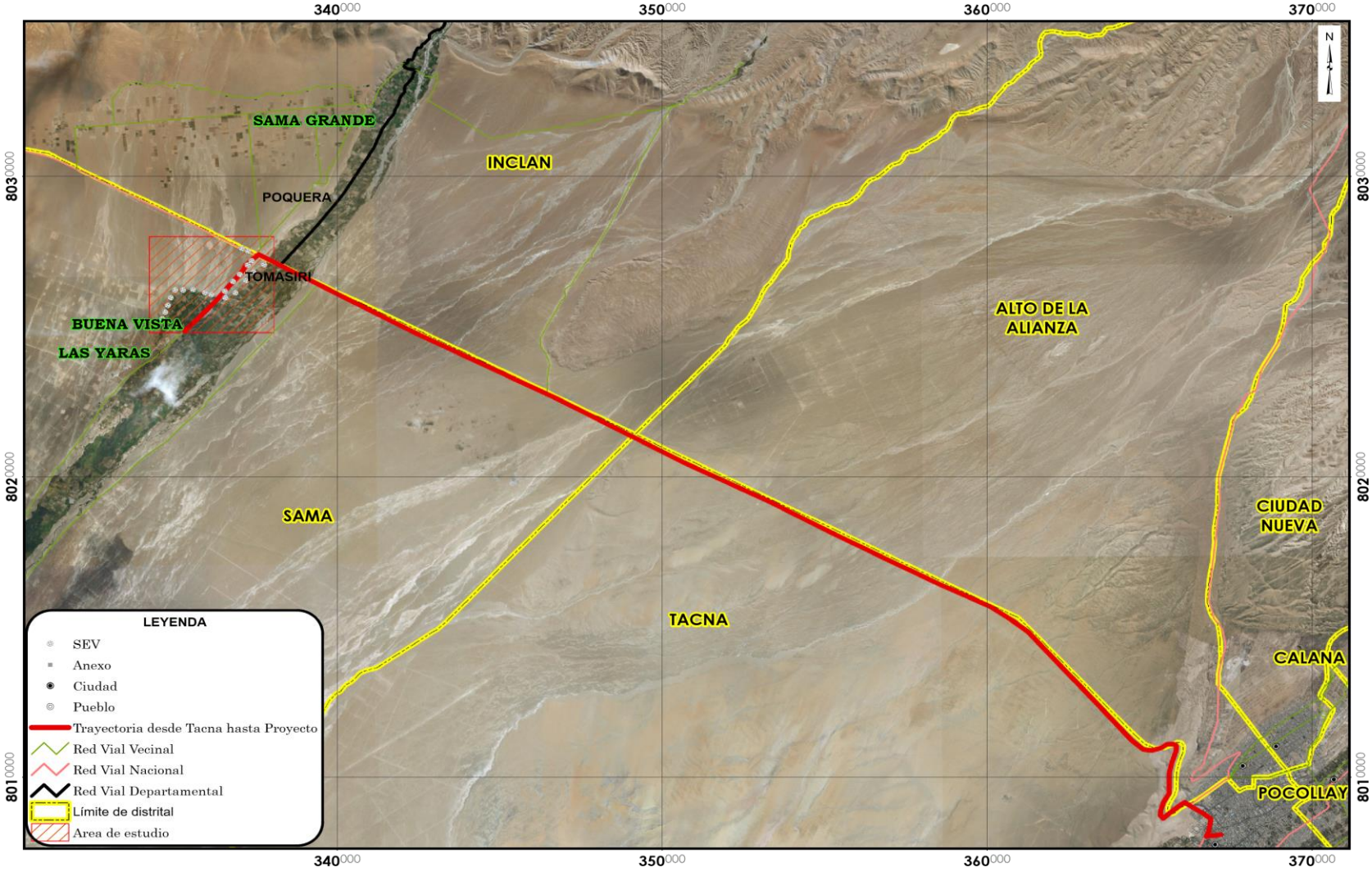
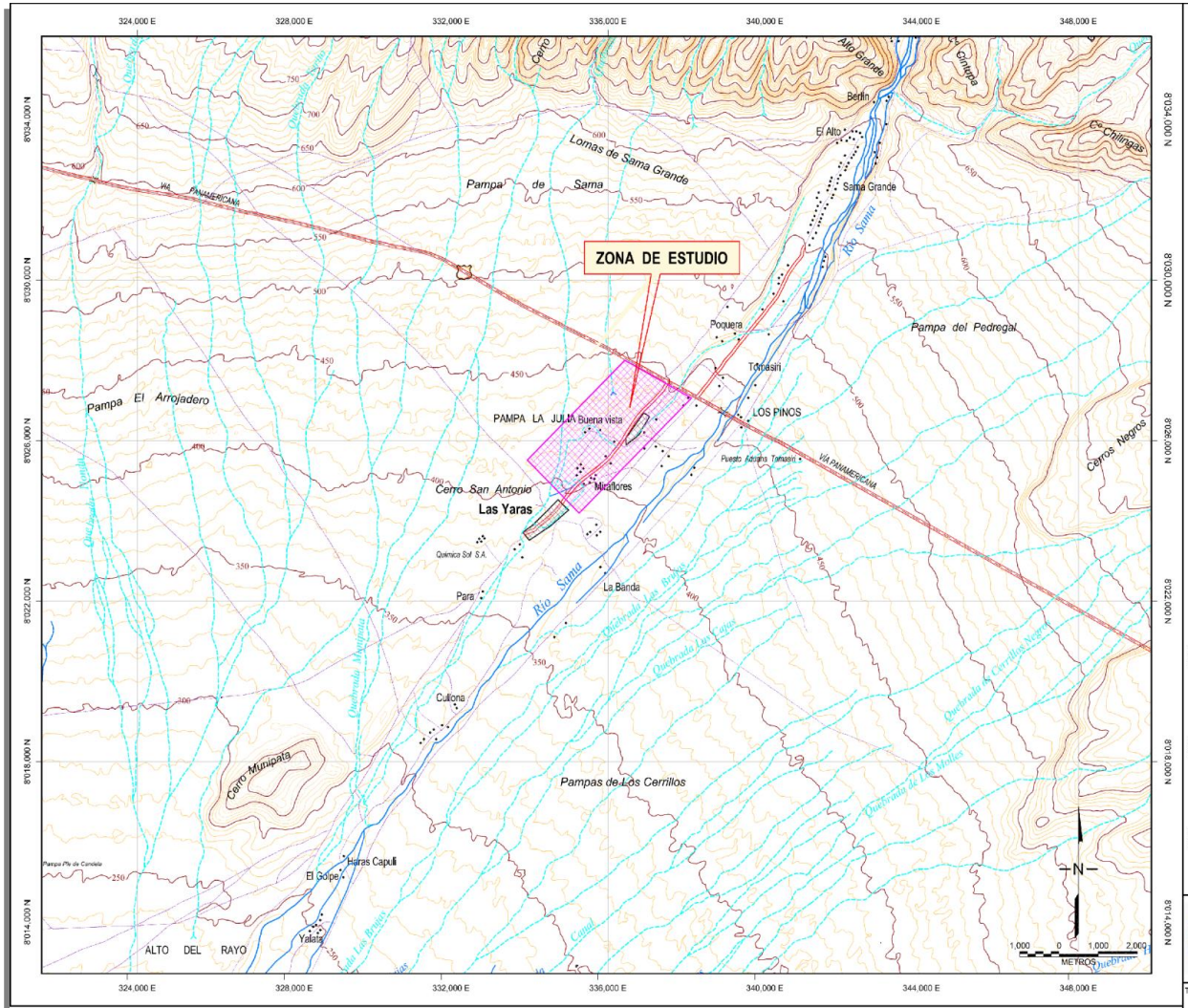
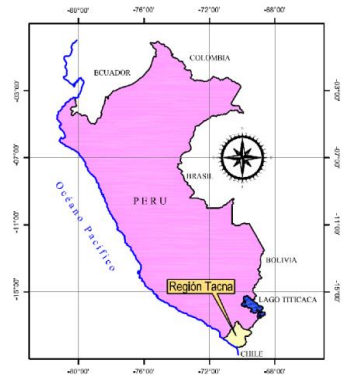


Figura N°1. Accesibilidad desde la ciudad de Tacna hasta la zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia.



MAPA DEL PERÚ



REGIÓN TACNA

LEYENDA

- Zona de Estudio
- Centro Poblado

SIMBOLOGÍA

- Capital de Departamento
- Capital de Provincia
- Capital de Distrito
- Límite Internacional
- Carretera Costanera
- Carretera Afirmada
- Vía Panamericana
- Vía Asfaltada
- Vía Carrozable
- Puente
- Curva mayor
- Curva menor
- Río
- Quebrada
- Límite Departamental

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

ELABORADO :	ESCALA :	DATUM :	MAPA:
Bach. Larissa Yampasi Surco.	1/100,000	WGS 84 - Zona 19S	01
DISTRITO : SAMA	PROVINCIA : TACNA	REGIÓN : TACNA	

1.2 CLIMA Y VEGETACIÓN

1.2.1 Clima

La zona de estudio presenta un clima semiárido con bajas precipitaciones que se presentan en forma de lluvias finas y garúas durante los meses de invierno (abril, mayo y junio), suficientes para producir vegetación de pastos naturales “lomas” también se originan neblinas durante este periodo.

La tabla N°2 muestra los parámetros de temperatura media anual de 19.3°C para la zona de estudio, de acuerdo al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), presentándose valores muy altos en tiempo de verano (enero, febrero y marzo), ver tabla N°2.

Tabla N°2. Parámetros climáticos de la Estación Meteorológica Sama Grande – Región Tacna.

PARÁMETROS CLIMÁTICOS PROMEDIO DE SAMA GRANDE				
AÑO	PRECIPITACIÓN		TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO (°C)
	PROMEDIO (mm)	TOTAL (mm)		
2010	0.01	3.4	24.9	13.1
2011	0.01	25.5	25.2	13.1
2012	0.05	18.1	25.2	14.1
2013	0.02	6.2	24.7	13.2
2014	0.08	5.2	24.4	13.2
2015	0.14	42.4	25.3	15.5
2016	0.13	30.0	24.5	15.0
2017	0.14	40.0	25.1	15.2

Fuente: SENAMHI

1.2.2 Vegetación

La vegetación se genera solamente a lo largo de los valles principales y está constituida por sembríos de pan llevar, pastos y árboles frutales. Con las escasas lluvias surge la vegetación temporal que consiste en gramíneas y otros pastos naturales; plantas oriundas como la llamada Siempre Viva; planta que crece en el

suelo, pero no enraizado en él (figura N°2 a). Tiene bromelias o achupallas para retener la poca agua que hay en el desierto tacneño, así como la humedad. Existen algunas especies de cactus como Pucaspaya, es una planta que pertenece al género de las Cactáceas y cuyo nombre científico es Opuntia ignescens. Sus pequeños tallos crecen agrupados con muchas espinas. Su flor de color amarillo naranja es muy vistosa, ver figura N°2 b.

a) b)

Figura N°2. Vegetación a) Siempre Viva. b) Pucaspaya.
Fuente:(http://carobella78.blogspot.com/2012/07/la-diversidad-nos-fortalece-tacna-es-un.html)

1.3 JUSTIFICACIÓN

Ante la necesidad del recurso hídrico y la falta de lluvias en la cuenca del río Sama (pronóstico de años secos, SENAMHI) donde se ubica los centros poblados de Buenavista y Miraflores, es que se decidió la realización del presente estudio con fines de abastecimiento poblacional y agrícola.

Para ello se realizarán ensayos geofísicos a través del Método Eléctrico de Sondaje Eléctrico Vertical (SEV) que es el método recomendado por la Autoridad Nacional de Agua (ANA) para la prospección de aguas subterráneas, con la finalidad de ubicar las zonas más favorables para la exploración de este y proponer la ubicación de los pozos de explotación del agua.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Se ha llegado a plantear la siguiente pregunta:

¿Podrán los ensayos geofísicos de Sondaje Eléctrico Vertical ubicar zonas favorables para la explotación de aguas subterráneas en los centros poblados de Buenavista, Miraflores en el distrito de Sama?, ver tabla N°3.

Tabla N°3. Cuadro resumen de la formulación del problema.

PROBLEMA	CAUSAS	EFECTO
¿A qué se debe la escasez del recurso hídrico superficial?	Falta de lluvias en la cuenca. Crecimiento poblacional y agrícola.	Ubicación de zonas favorables mediante ensayos geofísicos de SEV para explotar el acuífero subterráneo.

Fuente: Elaboración propia.

1.5 VARIABLES

1.5.1 Independientes

- Contenido de humedad del suelo.
- Granulometría del suelo.
- Resistividad del suelo.

1.5.2 Dependientes

- Estratos geoeléctricos.
- Zonas favorables.

1.5.3 Indicadores

- Crecimiento poblacional.
- Uso no sostenible del recurso hídrico superficial.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo General

- La aplicación del método de sondaje eléctrico vertical para la ubicación de pozos de agua subterránea en los centros poblados de Buena Vista y Miraflores en el distrito de sama, provincia y región de Tacna.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Determinar la resistividad del subsuelo.
- Determinar el espesor de los diferentes estratos.
- Ubicar la profundidad de la napa acuífera.

- Determinar el basamento rocoso o zona impermeable/semi-impermeable.
- Identificar la posible ubicación de pozos.
- Proponer un diseño de pozo preliminar.

1.7 METODOLOGÍA

La metodología adoptada en el presente estudio tienen las siguientes etapas:

1.7.1 Revisión Bibliográfica

- Compilación de toda la información, teorías, aplicaciones existentes en tesis, internet y pozos próximos a la zona de estudio, etc.

1.7.2 Trabajo de Campo

- Revisión de planos impresos, de los pre-plot de los sondajes eléctrico-verticales SEV.
- Reunión con la población para evitar problemas durante la realización del estudio
- Pruebas y calibraciones del equipo en la zona de estudio para su mejor funcionamiento en campo y/o reevaluación de parámetros a considerar.
- Obtención de datos con los controles debidos al iniciar, al terminar y sin alteraciones al medio ambiente.

1.7.3 Trabajo de Gabinete

- Revisión de los valores obtenidos en campo, ploteo de cada SEV derivados en gráficos y análisis estadística de sus valores máximos y mínimos en cuadros.
- Procesamiento de datos, utilizando el software Geosoft (Oasis Montaj 8.4).
- Obtención de datos finales de inversión 1D para sus análisis e interpretación mostrados en secciones y columnas estratigrafías de las

propiedades geoeléctricas, en función de las observaciones directas en campo y reseña geológica del área.

1.8 ANTECEDENTES

Los primeros trabajos de exploración geofísica realizados, fue mediante la aplicación de electricidad en la prospección de minerales en el año 1829 por A. Fox, en los yacimientos de calcopirita de Cornualles (Inglaterra), un campo eléctrico natural relacionado con procesos de oxidación-reducción. A. S. Semenov en 1930, realizó los primeros trabajos de exploración eléctrica para la resolución de problemas hidrogeológicos y geotécnicos, actualmente se emplea la prospección eléctrica como método de investigación del subsuelo y aunque tenemos otras técnicas más modernas, los SEVs se siguen empleando, por ser uno de los métodos más confiables en la ubicación de estructuras acuíferas, además se ha desarrollado enormemente; tanto en equipos, como en el procesamiento e interpretación de datos mediante software, sumando también las sencillez y los costos que representan la aplicación de ese método. La ANA como institución reguladora del recurso hídrico dentro de su normativa solicita como ensayo válido para la presentación de estudios al SEV.

El estudio se realizó a pedido de la Municipalidad Distrital de Sama, con fines de abastecimiento poblacional y agrícola que pueda abastecer a las zonas evaluadas como son el Centro Poblado Bella Vista y Miraflores.

CAPÍTULO II

MARCO GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO Y ESTRUCTURAL

2.1 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

De acuerdo con la evaluación efectuada por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), el área de estudio se encuentra dentro de la Unidad: Penillanura Costanera, emplazada entre la cordillera de la Costa y las estribaciones andinas, conformada por acumulaciones aluviales provenientes de la erosión de la cordillera andina. Específicamente se encuentra en la margen derecha del curso inferior del río Sama. Las unidades geomorfológicas locales que tienen importancia en el reservorio subterráneo de la zona de estudio, se describen a continuación:

2.1.1 El litoral

Es la faja angosta de terreno llano que se extiende entre la línea de playa y el pie de la Cadena Costanera.

2.1.2 La Cadena Costanera

Es la faja de terreno montañoso y accidentado frente a la línea de playa, la máxima elevación lo constituye los Cerros Zapiringato y de La Morena de 390 m.s.n.m.

2.1.3 El Río Sama

Nace en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes y su curso inferior corta la cadena costanera, su presencia es solamente notoria en tiempo de avenidas desembocando en el mar, constituyéndose en la geoforma más importante para la alimentación del acuífero en la zona.

2.1.4 Terrazas

Son unidades geomorfológicas que se forman o han formado por la acción erosiva del río Sama, estas se encuentran mayormente en el flanco derecho aguas arriba las mismas que son empleadas como áreas de cultivos temporales.

2.1.5 Quebradas

Existen diferentes quebradas a lo largo del río Sama, las que desembocan al sur del curso principal del valle de Sama, la misma que otorgan al sector de convergencia como zona favorable a la prospección hidrogeológica.

2.1.6 Planicie Aluvial

Están ubicadas en una cota bastante más elevada que las terrazas de cultivo temporal son de textura y composición variada, siendo muy notorio los estratos salinos. Esta geoforma es la que conforma la Pampa Cruz verde el cual presenta una expectante posibilidad de conformar un acuífero económicamente explotable.

2.2 ESTRATIGRAFÍA

Se describe las diferentes formaciones geológicas que se encuentran en la zona de estudio, estas se encuentran descritas por INGEMMET; distinguiéndose las siguientes formaciones:

2.2.1 Formación Guaneros

Esta formación está compuesta de capas sedimentarias de origen marino, intercaladas con lavas. Esta formación yace con discordancia sobre el volcánico Chocolate y debajo del volcánico Toquepala.

Litológicamente está constituida por gruesas capas de volcánicos andesíticos con intercalaciones de areniscas rojizas y grises, de grano variable entre medio a fino y, secundariamente de capas de caliza de color gris a chocolate.

2.2.2 Volcánico Chocolate

El Volcánico Chocolate se encuentra al sur del río Sama, cerca de su desembocadura, uno al norte del cerro Meca Grande y el otro, al sur, formando el morro Sama, en el cual se observa en la base, una serie de derrames gris oscuros, en bancos gruesos, con intercalaciones de brechas marrones y andesitas porfiríticas o afaníticas en la parte superior.

Litológicamente estas rocas están representadas predominantemente por derrames andesíticos. La formación volcánica del área en estudio se puede correlacionar con el volcánico Chocolate de Arequipa y, por tanto, son de edad jurásica inferior.

2.2.3 Formación Toquepala

Con este nombre se conoce a una parte de las rocas volcánicas del grupo Toquepala que afloran en la parte media y baja del frente andino del sur del Perú.

Litológicamente está conformada en la parte inferior por aglomerados riolíticos; mientras que, en la parte superior por derrames andesíticos de color pardo oscuro a marrón, de textura variable. El espesor de la formación se ha estimado en 1.00 kilómetro.

2.2.4 Formación Moquegua

Con este nombre se conoce regionalmente en el sur del Perú a una formación de origen continental que alcanza gran distribución a lo largo de la costa. Litológicamente consiste de capas de arcillas rojizas, areniscas grises arcósicas con lentes de conglomerados y bancos de tufos volcánicos cuya edad ha sido asignada al Terciario superior, en la misma pampa estas rocas se encuentran cubiertas parcialmente por los depósitos aluviales del Cuaternario.

Las relaciones estratigráficas de esta formación son las siguientes: el contacto inferior es discordante con la formación Guaneros en la ciudad de Ilo; mientras que en Locumba yace sobre la superficie erosionada de rocas intrusivas y del volcánico Toquepala. Superiormente estos depósitos están cubiertos en discordancia por la formación Huaylillas y los depósitos aluviales recientes.

2.2.5 Formación Huaylillas

Es una secuencia de una serie de piroclásticos, principalmente tufos que cubren discordantemente a la formación Moquegua, cuya edad varía entre el Mioceno y el Plioceno. Litológicamente consiste de tufos blancos riolíticos en la parte inferior, tufos dacíticos compactos de color rosado en la parte media y tufos blancos riolíticos en la parte superior, tiene un espesor estimado de 500 m.

2.2.6 Depósitos Marinos

El material de esta terraza consiste de conglomerados gruesos, lentes de arena fina de color gris violáceo y arena gruesa de color gris con abundantes restos de conchas y venillas de yeso, su grosor varía de 5 a 30m.

Este depósito yace sobre una superficie de abrasión marina labrada en diorita y superficialmente cubierto con materiales aluviales y eólicos. Los restos de conchas encontrados pertenecen a especies que actualmente viven en el mar.

2.2.7 Depósitos Aluviales

El material aluvial está constituido por gravas semiconsolidadas con intercalaciones lenticulares de arena gruesa, arcilla y tufos redepositados; de estratificación más o menos horizontal. El material de estos depósitos ha sido transportado por aguas que discurren desde las partes altas de los flancos andinos y depositados en forma de abanicos aluviales, en la superficie de la depresión costanera, cuyo grosor de estos aluviales varía desde pocos centímetros hasta un máximo de 60m, comprobados en los cortes de las numerosas quebradas y también en el registro de las perforaciones por agua subterránea en las pampas cerca a las Yaras – Sama.

Estos materiales sobreyacen con discordancia a las formaciones más antiguas incluyendo a las rocas intrusivas. (Informe técnico del Instituto Nacional de Recursos Naturales Intendencia de recursos hídricos Administración técnica del distrito de riego Locumba – Sama. 2006. Estudio Hidrogeológico del Valle Sama)

2.2.8 Depósitos Eólicos

El material aluvial está constituido por gravas semiconsolidadas con intercalaciones lenticulares de arena gruesa, arcilla y tufos redepositados; de estratificación más o menos horizontal. El material de estos depósitos ha sido transportado por aguas corrientes desde las partes altas de los flancos andinos y depositados en forma de abanicos aluviales de piedemonte, en la superficie de la depresión costanera, cuyo grosor de estos aluviales varía desde pocos centímetros hasta un máximo de 60 metros, comprobados en los cortes de las numerosas quebradas y también en el

registro de las perforaciones por agua subterránea en las pampas cerca de las Yaras – Sama.

Estos materiales sobre yacen con discordancia a las formaciones más antiguas incluyendo a las rocas intrusivas.

En el campo se ha observado la existencia de dos etapas de depositación y posterior erosión de los sedimentos, los que han dado lugar al entallamiento de dos (02) niveles antiguos del valle.

2.2.9 Cenizas Volcánicas

En diferentes lugares de las pampas se observan pequeñas acumulaciones de cenizas volcánicas de color blanco, blandas hasta pulverulentas, mezcladas con grava fina.

Estos materiales generalmente se encuentran en suaves hondonadas cubriendo a los aluviales y formaciones más antiguas.

Litológicamente estas rocas están representadas predominantemente por derrames andesíticos. La formación volcánica del área en estudio se puede correlacionar con el volcánico Chocolate de Arequipa y, por tanto, son del jurásico inferior.

2.2.10 Depósitos Fluviales

Con esta denominación se considera a los depósitos actuales de los fondos de los valles principales. El material consiste en gravas con lentes de arenas y capas de arcillas que son aprovechados como terrenos de cultivo.

En el área de investigación hidrogeológica afloran las siguientes unidades estratigráficas. Figura N°3.

2.2.11 Rocas Intrusivas

Los afloramientos de rocas intrusivas están representados por granito y diorita, conformando los cerros del Callejón, Torillo Muerto, La Tranquilla, Batancito, etc.

Las rocas intrusivas, cronológicamente se encuentran ubicadas en el Terciario Inferior; y extraordinariamente podrían conformar el basamento rocoso del acuífero al Oeste de la zona de estudio. Hidrogeológicamente, las rocas intrusivas

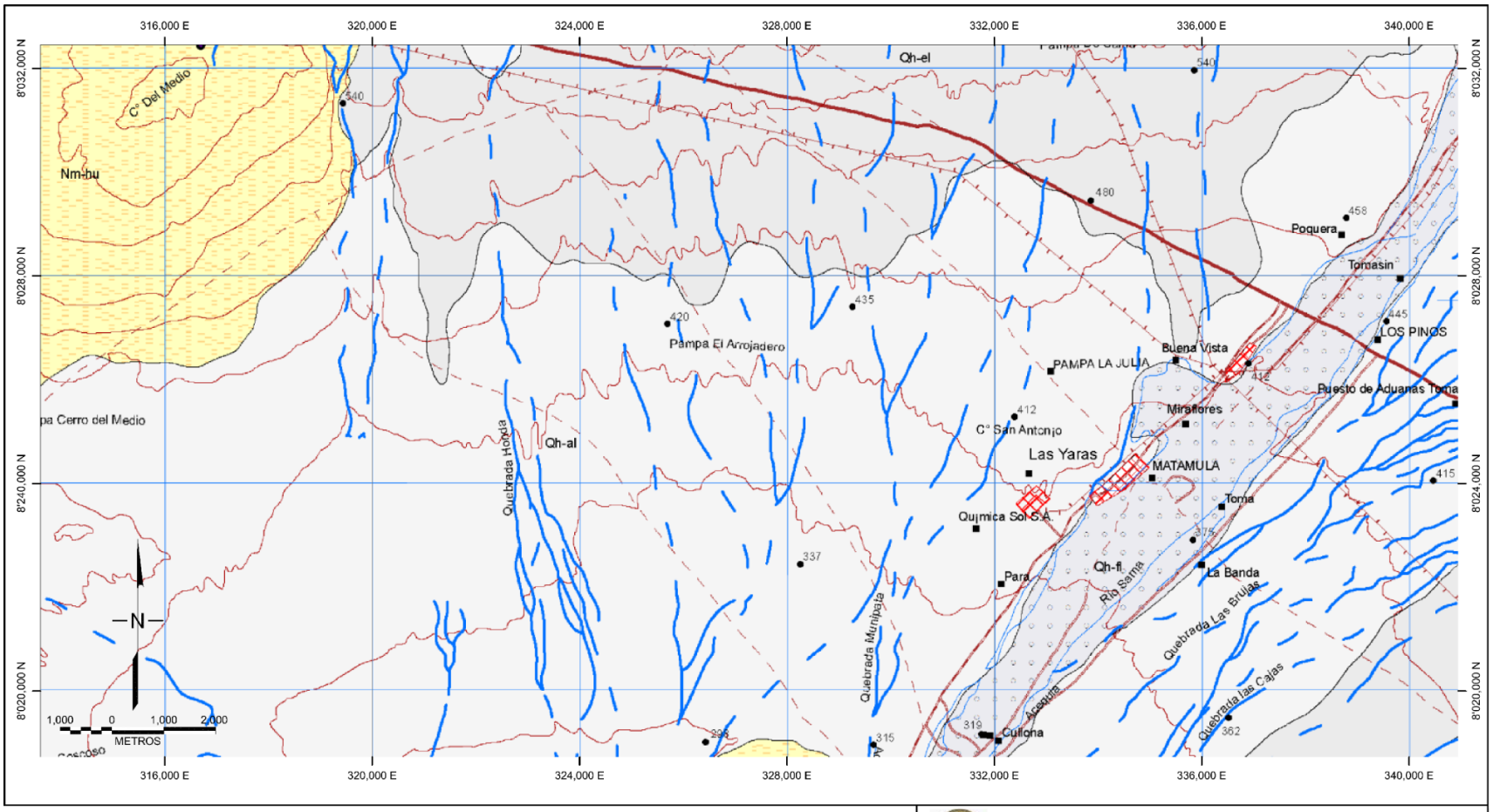
constituyen barreras impermeables que en algunos casos dan origen a bolsonadas de agua.

2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el área de acuerdo a lo indicado en el cuadrángulo Locumba 36-u del INGEMMET se reconocen dos aspectos estructurales importantes:

a. Fallamiento en bloques de la Cadena Costera.
b. Una depresión tectónica entre la Cadena Costera y el pie de la Cordillera de los Andes.

La litología y los aspectos estructurales están presentes en el mapa N°2.



LEYENDA

- Q-el Depósito eólico
- Q-al Depósito aluvial
- Q-fl Depósito fluvial
- Nm-hu Formación Huaylillas

SIMBOLOGÍA

- Vía Panamericana
- Vía afirmada
- Quebrada
- Curva de nivel
- Río

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

MAPA GEOLÓGICO

ELABORADO : Bach. Larissa Yampasi Surco	**ESCALA :** 1/100,000	**DATUM :** WGS 84 - Zona 19S	**MAPA:** 02
DISTRITO : SAMA LAS YARAS	**PROVINCIA :** TACNA	**REGIÓN :** TACNA	

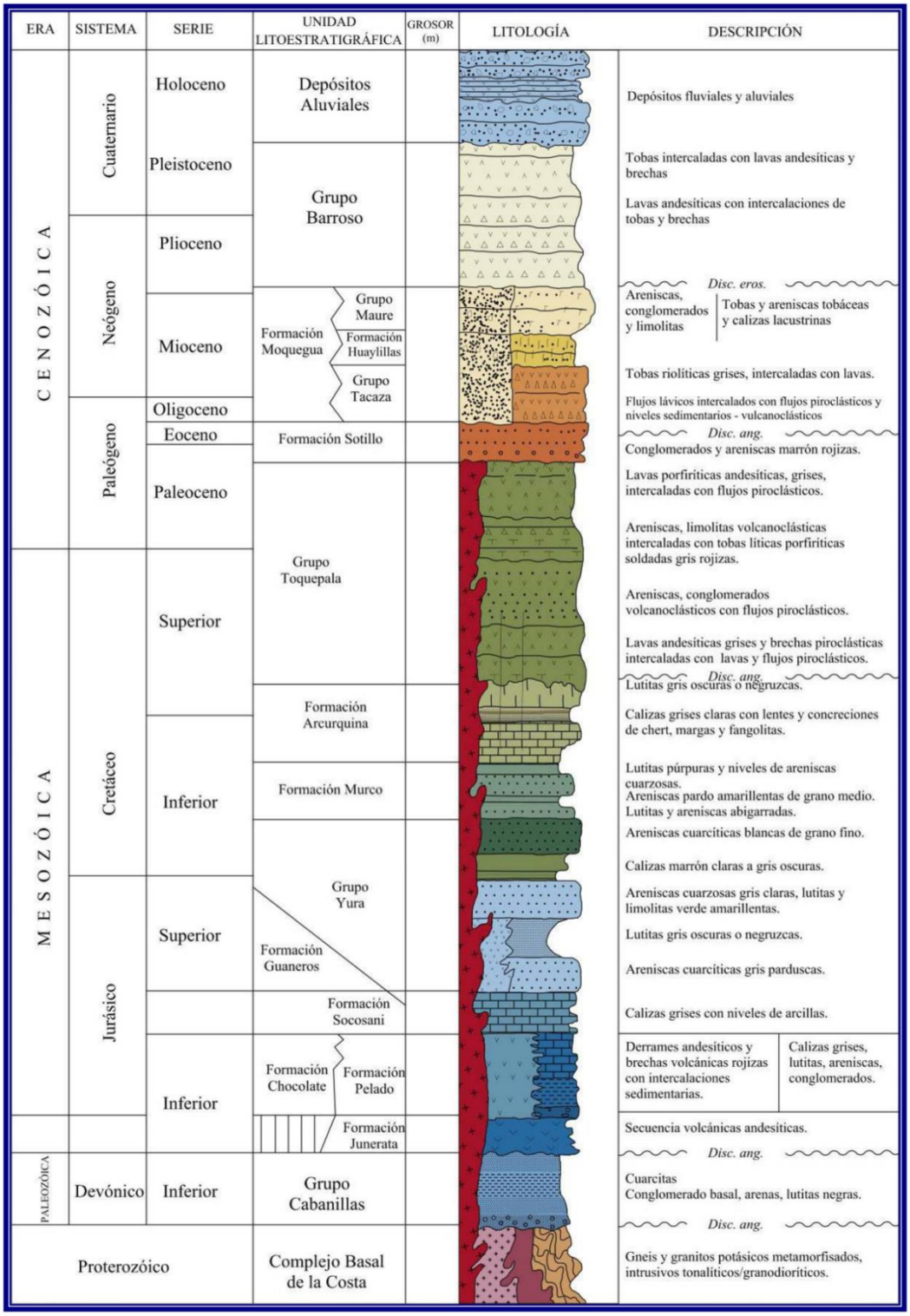


Figura N°3. Columna estratigráfica, desde Formación Chocolate entre Sama y la Yarada en la costa del departamento de Tacna.(INGEMMET)

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

La Prospección Geofísica es utilizada en la exploración del subsuelo y permite distinguir el contraste entre las distintas formaciones geológicas que se encuentran en profundidad; existen diferentes métodos geofísicos uno de ellos es la Prospección Eléctrica que a su vez tiene técnicas mucho más precisas y modernas; pero el Sondaje Eléctrico Vertical se sigue utilizando por su sencillez, rapidez y economía.

3.1 PROSPECCIÓN ELÉCTRICA

Es una rama de la Geofísica que trata sobre el comportamiento de las rocas y sedimentos en relación con la corriente eléctrica; los métodos geoeléctricos más empleados en Hidrogeología se basan en la inyección artificial de corriente eléctrica: SEV y Calicatas Eléctricas (CE), Tomografía eléctrica Vertical y el Potencial Espontáneo (PE), este último basado en la medición de campos eléctricos naturales. Ver figura N°4.

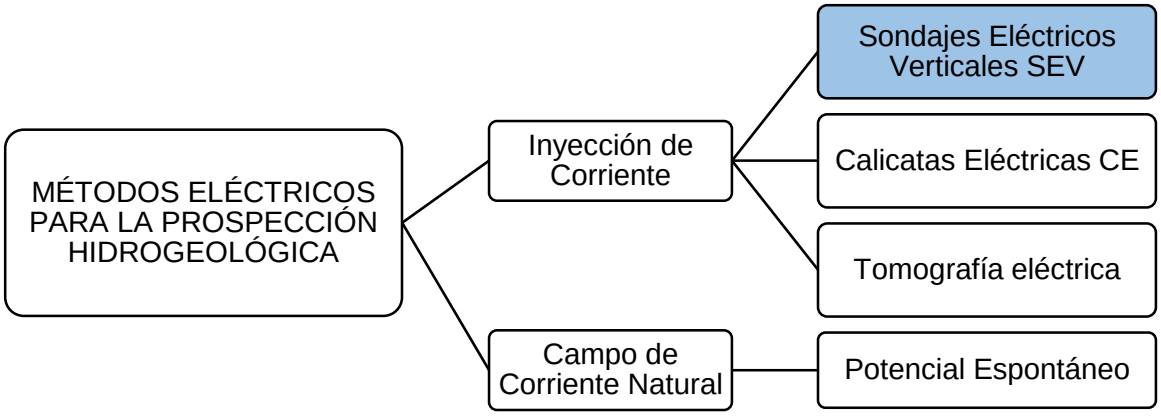


Figura N°4. Métodos Geoeléctricos de Prospección.

Fuente: Métodos Geoeléctricos para la Propección de Agua subterránea (Dr. Miguel Auge, 2008).

Los parámetros que se suelen medir son: la diferencia de potencial y la intensidad de corriente eléctrica; pero el parámetro físico básico es la resistividad del suelo, una capacitancia y una inductancia. Si la corriente eléctrica empleada es continua la resistividad es el único parámetro que tiene importancia.

Se debe tener presente que son conductores los materiales metálicos y algunas soluciones salinas; normalmente, el suelo y subsuelo se comportarán como aislante o de resistividad muy alta. Generalmente, en la mayoría de los terrenos existen poros y/o fisuras que pueden estar o no saturados de agua u otro fluido. El agua, por la presencia de sales disueltas en una proporción que depende a la vez de la temperatura, actúa como un conductor. La resistividad de las rocas dependerá, por lo tanto, del volumen de sus poros, de su distribución y de la resistividad del fluido que los rellena. Se comprende así porque no es posible clasificar en forma simple a los terrenos por su resistividad, ya que esta característica eléctrica está ligada a la porosidad, al contenido de agua u otro fluido y a su resistividad.

Si se colocan los electrodos A y B, en una superficie plana y se hace circular corriente eléctrica continua (líneas de corriente) de intensidad (I), se puede registrar la caída de potencial (ΔV) que existe, entre dos puntos del terreno. Puede conocerse la resistividad de los terrenos involucrados en el circuito, ver figura N°5.

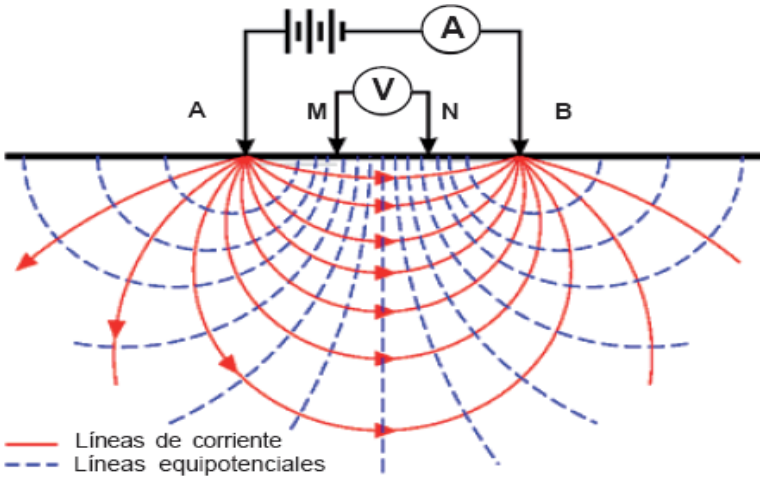


Figura N°5. Circuito de emisión y recepción, donde: A y B = Electrodos de corriente, M y N = Electrodos de potencial. (Orellana, 1982)

En la figura N°6 se observa que a mayor separación de los electrodos A y B, se produce una mayor penetración en el subsuelo. Se muestran los siguientes casos:

- El caso (a) muestra como para separaciones pequeñas de electrodos, la corriente está virtualmente confinada a la zona (ρ1) más superficial.
- El caso (b), cuando los electrodos se abren, se alarga la distancia entre los dispositivos y la penetración en el subsuelo se incrementa, proporcionando más información sobre (ρ2).

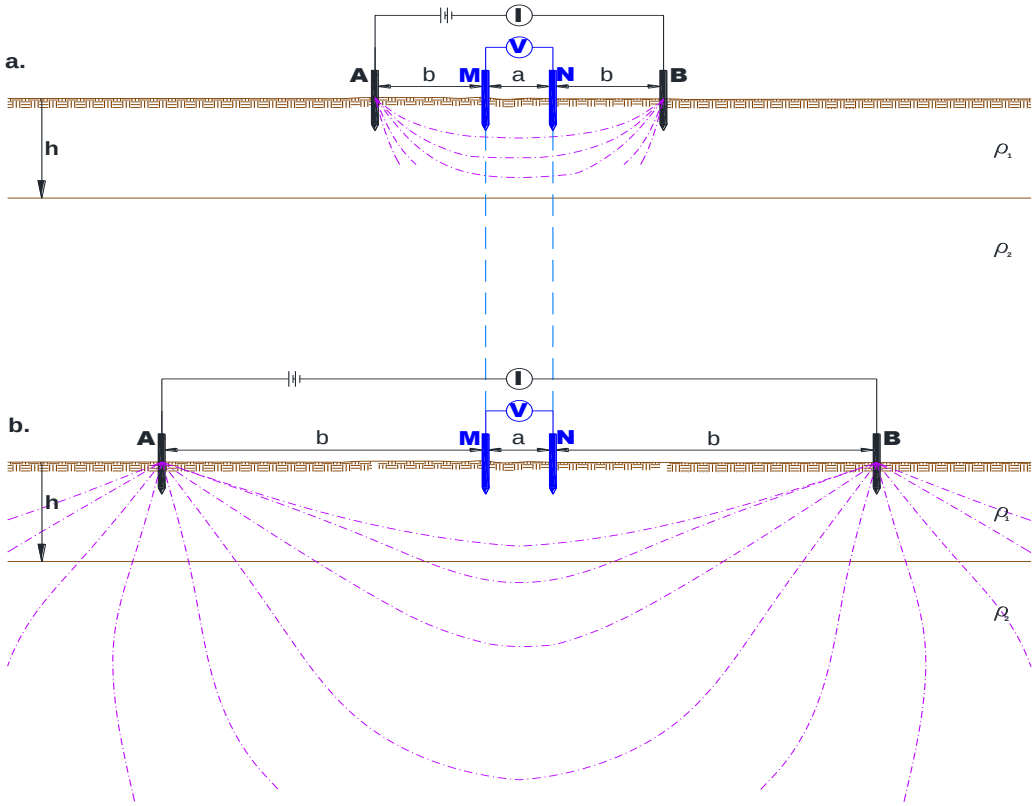


Figura N°6. a) Investigación a menor profundidad b) Investigación a mayor profundidad. (Ernstson & Kirsch, 2006).

3.1.1 Ley de Ohm

La ley de Ohm expresa que la Resistencia (R) que ofrece un conductor al flujo de una corriente, es directamente proporcional a la diferencia de potencial (ΔV) entre los extremos del material e inversamente proporcional a la intensidad (I) del flujo de corriente. Figura N°6.

$$R=\frac{\Delta V}{I}$$

La unidad de medida de la resistencia es el Ohmio, que surge de la siguiente definición: "Cuando por un conductor se hace circular una corriente de intensidad I = 1 Amperio, y la diferencia de potencial entre sus extremos es de 1 Voltio, la Resistencia es de R = 1Ohmio (Ω)".

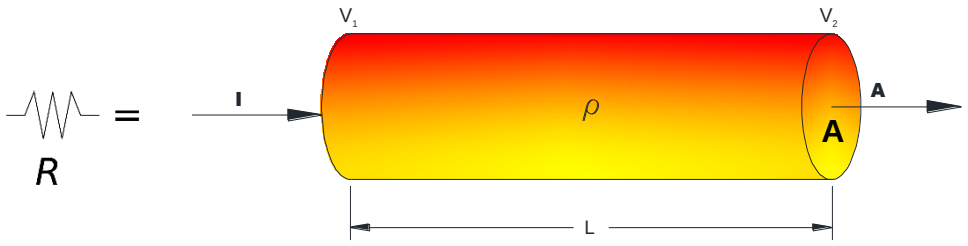


Figura N°7. Unidad de resistividad o resistencia específica. (Ernstson & Kirsch, 2006).

En la figura N°7 se describe:

R: Es la Resistencia eléctrica del conductor.

V: La diferencia de potencial entre los bornes.

I: Intensidad de corriente eléctrica.

ρ: Resistividad del medio.

L: es directamente proporcional a la longitud del material.

A: área de la muestra.

Donde:

$$\boldsymbol{R = \rho \times \frac{L}{A}} \qquad\qquad \boldsymbol{\rho = \frac{\Delta V}{I} \times \frac{A}{L}}$$

La resistividad (también llamada resistencia específica) es una constante propia e intrínseca de cada material, independientemente de su forma. La Unidad de medida es el Ohmio metro (Ω m).

Un conductor de $1m^2$ de sección y 1m de longitud posee una resistividad de 1 Ohmio-metro cuando permite pasar una corriente de intensidad I = 1 Amperio

mientras la diferencia de potencial registrada entre sus extremos es igual a (ΔV) = 1 Voltio.

El procedimiento de medida de la resistividad del suelo consiste en inyectar una corriente I entre el par de electrodos A y B y se mide la tensión ΔV entre el par de electrodos M y N. Si el medio es homogéneo, de resistividad ρ, la diferencia de tensión es:

$$\Delta V = \frac{I x \rho}{2\pi}\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}\right)$$

Dónde: AM, AN, BM y BN son las distancias entre electrodos. Entonces la resistividad estará dada por la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{\rho = K\frac{\Delta V}{I}}$$

Dónde: K es un factor geométrico que depende exclusivamente de la disposición de los electrodos.

$$K = 2\pi\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}\right)^{-1}$$

3.1.2 Resistividad de las Rocas

La resistividad de la mayoría de las rocas es elevada, por lo que actúan como semiconductores o conductores de baja capacidad, el comportamiento de estos cambia significativamente cuando las fisuras o poros están ocupados por agua, lo que origina la disminución de la resistividad. El agua pura también tiene una resistividad alta, pero la presencia de sales disueltas la convierte en un conductor electrolítico.

La resistividad de los materiales naturales varía; desde los 10^{-8}, en los metales que son excelentes conductores hasta los 10^{15} los valores de la resistividad de la roca están determinados más que por su composición mineralógica, por el agua que contienen, fundamentalmente por la porosidad y la salinidad del agua (mayor

salinidad mayor conductividad). Lo que hace que la resistividad de cada tipo de roca presente una gran variabilidad.

Por esta razón la resistividad de las rocas consolidadas y no consolidadas depende de su constitución mineralógica, porosidad, grado de saturación y tipo de líquido que rellena los poros.

Tabla N°4. Resistividades del agua.

RESISTIVIDAD (ohm-m)		
Mineral	**Intervalo**	**Promedio**
Aguas meteóricas.	30 a 10^3	
Aguas superficiales (rocas ígneas)	0.1 a $3x10^3$	
Aguas superficiales (sedimentos)	10^ a 100	
Aguas de suelos		100
Aguas naturales (rocas ígneas)	0.5 a 150	9
Aguas naturales (sedimentos)	1 a 100	3

Referencia: Telford, 1976.

Tabla N°5. Resistividades de rocas ígneas y metamórficas.

Tipo de Roca	**Intervalo de resistividades (ohm-m)**
Sienita	10^2 a 10^6
Diorita	10^4 a 10^5
Pórfido de diorita	$1.9X10^3$(húmedo) a $2.8X10^4$(seco)
Diorita cuarzosa	$2x10^4$ a $2x10^6$ (hum) a $1.8x10^5$ (seco)
Dacita	$2x10^4$(húmedo)
Andesita	4.5X10^4X10 (húmedo) a 1.7x10^2 (seco)
Pórfido de díabasa	10^3(húmedo) a $1.7x10^5$(seco)
Diabasa (varios)	201 a $5x10^7$
Lavas	10^2 a $5x10^4$
Gabro	10^3 a 10^6
Basalto	10 a $1.3x10^7$(seco)
Esquistos	201 a 10^4
Tobas	$2x10^3$ (húmedo) a 10^5 (seco)
Lajas (varios)	$6x10^2$ a $4x10^7$
Gneises (varios)	$6.8x10^4$(húmedo) a $3X10^6$(seco)
Cuarzitas (varias)	10 a $2x10^8$

Referencia: Telford, 1976.

Tabla N°6. Resistividades de rocas sedimentarias.

Tipo de roca	Intervalo de resistividad (ohm-m)
Lutitas consolidadas	20 a $2x10^3$
Argilitas	10 a $8x10^2$
Conglomerados	$2x10^3$ a 10^2
Areniscas	1 a $6.4x10^8$
Lutitas	50 a 10^7
Dolomias	$3.5x10^2$ a $5x10^3$
Arcillas saturadas no consolidadas	20
Margas	3 a 70
Arcillas	1 a 100
Aluviones y arenas	10 a 800
Arenas con petróleo	4 a 800

Referencia: Telford, 1976.

Tabla N°7. Resistividad del agua.

Tipo de Agua (ohm-m)	Intervalo de resistividad agua
Aguas de lago	10^3 a $3X10^3$
Aguas dulces superficiales	10 a 10^3
Aguas salobres superficiales	2 a 10
Aguas subterráneas	1 a 20
Aguas de lagos salados	0.1 a 1
Aguas marinas	0.2
Aguas de impregnación de roca	0.03 a 10

Referencia: Orellana, 1972.

Tabla N°8. Variación de la porosidad de la roca con la edad.

Edad	Tipo de roca	Granular %
Precámbricas	Rocas ígneas y rocas metamórficas de alto grado	0 a 2
Precámbricas	Sedimentos y sedimentos de alto grado de metamorfismo	1 a 8
Paleozoica	Volcanoclásticas	5 a 30
Paleozoica	Areniscas y pizarras	5 a 30
Paleozoica	Calizas	2 a 10
Postpaleozoica	Volcanoclásticas	10 a 60
Postpaleozoica	Areniscas y pizarras	10 a 40
Postpaleozoica	Calizas	4 a 20
Cuaternaria	Rocas ígneas	0 a 10

Referencia: Keller, 1966.

Tabla N°9. Variación de la resistividad de las rocas con el contenido de agua

Roca	H20 (%)	ρ (ohm-m)
Arenisca grano grueso	0.39	$9.6x10^5$
Arenisca grano grueso	0.18	10^8
Arenisca grano mediano	1	$4.2x10^3$
Arenisca grano mediano	1.67	$3.2x10^6$
Arenisca grano mediano	0.1	$1.4x10^8$
Grauvaca arenisca	1.16	$4.7x10^3$
Grauvaca arenisca	0.45	$5.8x10^4$
Arcosa arenisca	1.26	10^3
Arcosa arenisca	1	$1.4x10^3$
Lutita orgánica	11	$0.6x10^3$
Dolomias	2	$5.3x10^3$
Dolomias	1.3	$6x10^3$
Dolomias	0.96	$8x10^3$
Peridotita	0.1	$3x10^3$
Peridotita	0.03	$2x10^4$
Peridotita	0.016	10^6
Peridotita	0	$1.8x10^7$
Pirofilita	0.76	$6x10^6$
Pirofilita	0.72	$5x10^7$
Pirofilita	0.7	$2x10^8$
Pirofilita	0	10^{11}
Granito	0.31	$4.4x10^3$
Granito	0.19	$1.8X10^6$
Granito	0.06	$1.3x10^8$
Granito	0	10^{10}
Diorita	0.02	$5.8x10^5$
Diorita	0	$6x10^6$
Basalto	0.95	$4x10^4$
Basalto	0.49	$9x10^5$
Basalto	0.26	$3X10^7$
Basalto	0	$1.3x10^8$

Referencia: Telford, 1976.

3.1.2.1 Factores que afectan la Resistividad de las Rocas

En las rocas consolidadas, el grado de meteorización o de fisuración es el que determina el volumen de espacios vacíos, en cambio, en los sedimentos, la porosidad está relacionada directamente con la granulometría; esto significa que, a mayor granulometría, mayor resistividad; pro la resistividad depende también del grado de saturación, se da el caso que una grava saturada puede tener una

resistividad similar a la de una arena seca. Se aprecia que la resistividad de las rocas depende de diferentes factores, estos son los siguientes:

a. **Porosidad:** Es el cociente entre el volumen de poros y el volumen total. En ambientes someros cerca de la superficie terrestre, la porosidad de las rocas está ocupada por soluciones acuosas que facilitan la conducción iónica. La resistividad eléctrica disminuye con mayor interconexión entre poros, y en general se tiene que a mayor porosidad efectiva menor es la resistividad.
b. **Salinidad de las soluciones acuosas:** A mayor salinidad de las soluciones, mayor es el contenido de iones que pueden conducir corriente eléctrica.
c. **Porcentaje de Saturación:** Es el porcentaje del volumen de poros ocupado por soluciones acuosas. Si los poros no están ocupados por soluciones acuosas, el medio tendrá una mayor resistividad. La resistividad disminuye con el grado de saturación.
d. **Temperatura:** A mayor temperatura disminuye la viscosidad de las soluciones acuosas, facilitando la movilidad de los iones y, por lo tanto, disminuye la resistividad.
e. **Presión:** Para rocas sedimentarias, a mayor presión, aumenta el grado de compactación, disminuyendo la porosidad y aumentando potencialmente la resistividad. Mientras que para rocas muy compactas (rocas ígneas y metamórficas) la presión provoca fracturamiento, disminuyendo potencialmente la resistividad de las rocas.

3.1.3 Dispositivos y Arreglos Electródicos

Se conoce como “dispositivo electródico” a los electrodos que inyectan corriente en el subsuelo y registra el potencial generado en el mismo. Usualmente se suelen disponer de cuatro electrodos, aunque también suelen emplearse los dispositivos de tres electrodos o de sólo dos. Una pareja de electrodos se denomina “de corriente”, y son los responsables de inyectar la electricidad en el subsuelo, y otros dos electrodos son “de potencial”, empleándose para medir el voltaje generado en el subsuelo por la corriente inyectada.

Los diferentes tipos de dispositivos empleados en el método de resistividad eléctrica se diferencian entre sí por la distancia relativa entre electrodos, y la posición de los electrodos de corriente respecto a los de potencial.

3.1.4 Dispositivos Tetraeléctródicos Lineales Básicos

En cualquier dispositivo electródico, si conocemos el factor geométrico (K), la corriente eléctrica (I) inyectada por los electrodos A y B, y la diferencia de potencial entre los electrodos M y N, podemos calcular la resistividad aparente mediante los dispositivos tetraelectródicos lineales más utilizados son los siguientes:

a. Dispositivo Schlumberger: Se disponen simétricamente los electrodos AMNB dispuestos en línea, donde la distancia MN es mucho menor que la distancia de los inyectores AB. Generalmente AB debe ser mayor o igual a 5 MN, ver figura N°8.

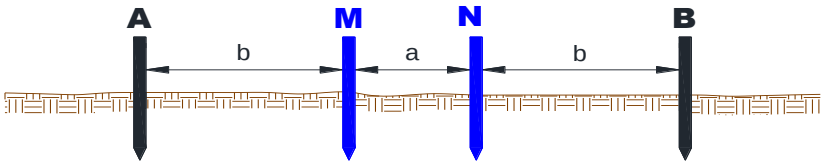


Figura N°8. Dispositivo Schlumberger. (Ernstson & Kirsch, 2006).

Los valores de la resistividad aparente se representan en función de AB/2. El factor geométrico del dispositivo en este caso es: $K = \pi \frac{b(b+a)}{a}$

En algunos casos el electrodo B se lleva a gran distancia de los demás de modo que no influya sobre el valor de ΔV observado. Este dispositivo se denomina Schlumberger asimétrico o semi-Schlumberger.

b. Dispositivo Wenner: Los dispositivos se sitúan equidistantes sobre una línea en el orden AMNB, ver figura N°9.

El factor geométrico del dispositivo en este caso es: $K = 2\pi a$

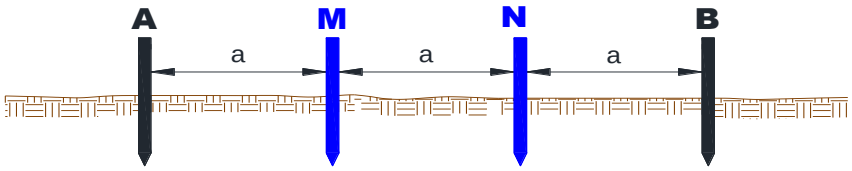


Figura N°9. Dispositivo Wenner. (Ernstson & Kirsch, 2006).

c. Dispositivo Polo-Dipolo: En este caso el electrodo B de medida se lleva a una distancia muy alejada de los otros tres (en teoría, al infinito), ver figura N°10.

El factor geométrico del dispositivo en este caso es: $K = 2\pi\, n\, (n+1)a$

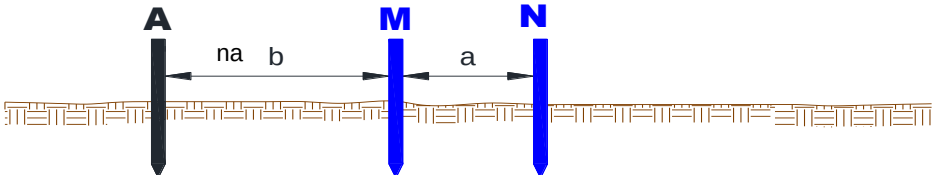


Figura N°10. Dispositivo Polo-Dipolo. (Ernstson & Kirsch, 2006).

Este dispositivo es equivalente al semi-Schlumberger. Una variación del dispositivo polo-dipolo se obtiene moviendo uno de los electrodos de medida de potencial a un punto lejano (teóricamente, al infinito).

d. Dispositivo Dipolo-Dipolo: Los electrodos se disponen en el orden ABMN formando un doble dipolo, ver figura N°11.

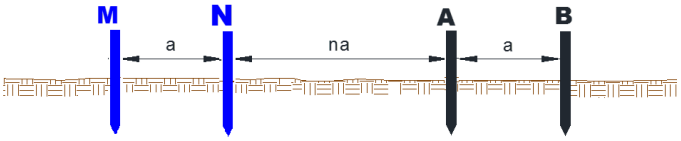


Figura N°11. Dispositivo Dipolo-Dipolo. (Ernstson & Kirsch, 2006).

El factor geométrico del dispositivo en este caso es:

$$K = \pi n(n+1)(n+2)a$$

3.1.5 Sondaje eléctrico Vertical - SEV

El SEV consiste en registrar, desde la superficie, la resistividad aparente en puntos situados sobre una recta, que se alejan del centro del dispositivo, en forma progresiva y regular, a intervalos de escala logarítmica. Con las mediciones obtenidas, se puede establecer la curva de variaciones de resistividad aparente, en función de la distancia entre el electrodo y el centro del sistema.

A medida que la separación entre los electrodos aumenta, en general también se incrementa la profundidad de investigación, sin embargo, Roy y Apparao (1971) definen la profundidad de investigación característica como la profundidad a la que una capa delgada de terreno (paralela a la superficie) contribuye con participación máxima a la señal total medida en la superficie del terreno. Los autores indican que la profundidad de investigación viene determinada por la posición de los electrodos inyectores y detectores, y no sólo por la penetración o distribución de la corriente.

Los valores ***resistividad aparente/distancia*** se vuelcan a un gráfico bilogarítmico (figura N°12) y dan como resultado una "curva de campo", que posteriormente se interpreta por métodos cualitativos, cuantitativos manuales y por computadora. Los resultados de esta interpretación permiten distinguir capas a partir de sus resistividades verdaderas diferentes, así como también determinar sus espesores. Estos resultados son representativos para el punto central de medición y su proyección en profundidad.

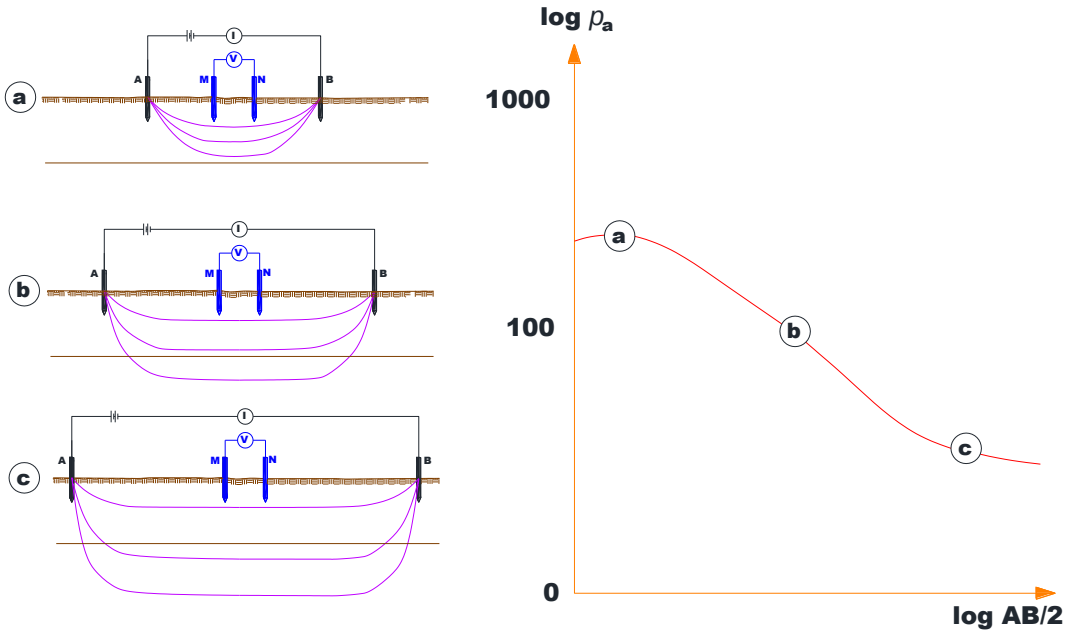


Figura N°12. Mediciones de resistividad aparente con aumento de la distancia entre electrodos de corriente y plasmados en la curva de resistividad aparente. (Ernstson & Kirsch, 2006).

La correlación de SEVs contiguos, permite elaborar perfiles geoeléctricos, que muestran las variaciones de las propiedades del subsuelo en forma lateral. La interpretación con especificaciones de resistividades y espesores de cada capa identificada en el subsuelo recibe el nombre de **corte o sección geoeléctrica.**

3.2 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

3.2.1 Acuífero

Es aquel estrato o formación geológica permeable que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas. Dentro de estas formaciones podemos encontrarnos con materiales muy variados como gravas de río, limo, calizas muy agrietadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas, depósitos de dunas e incluso ciertos tipos de arcilla.

Se define también como la formación geológica de la cuál puede extraerse agua de manera económicamente posible, ver figura N°13; posee aberturas entre las partículas que lo constituyen o bien fisuras o fracturas, en ocasiones canales o

cavernas de disolución o aberturas resultantes de la contracción de la roca. Un acuífero puede cumplir con las siguientes funciones:

- *Función almacenadora:* Sirve como depósito.
- *Función transmisora:* Transmite agua. La forma de circulación varía según las características del acuífero.

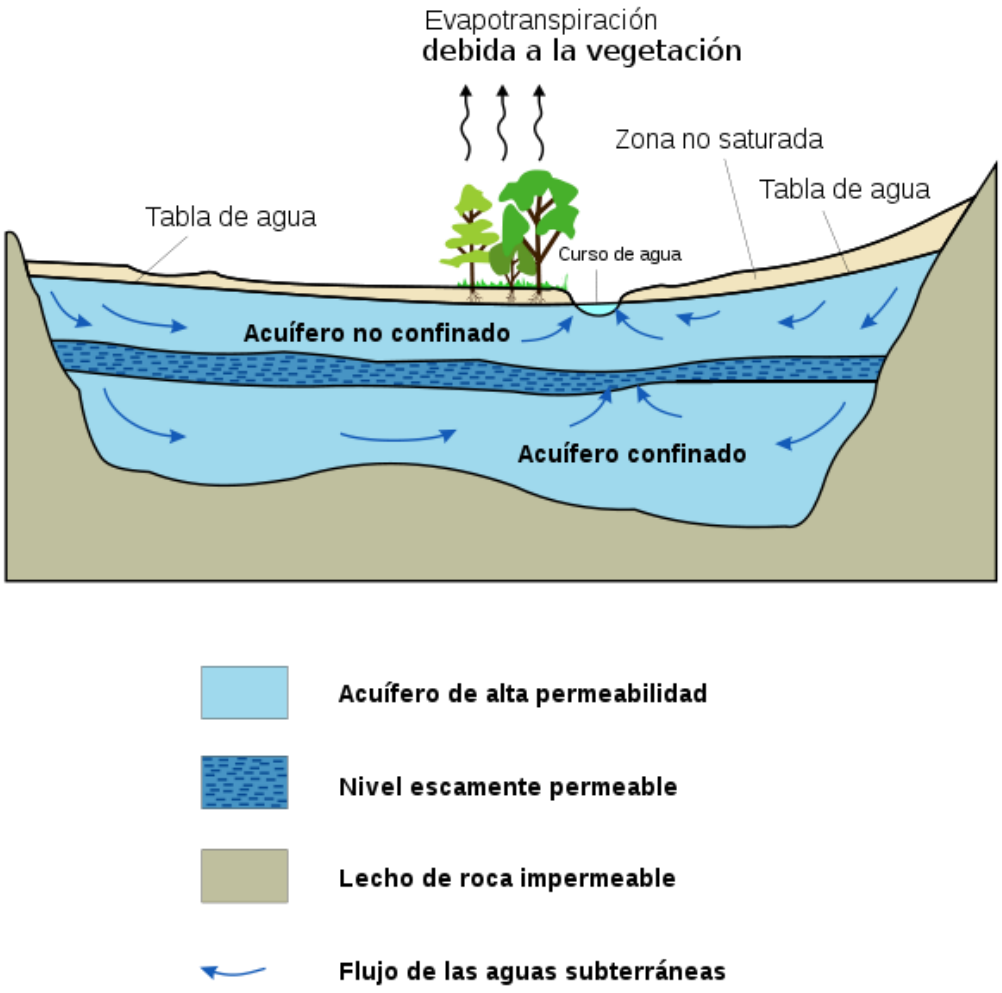


Figura N°13. Ejemplo de acuífero.
Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Agua_subterr%C3%A1nea.

Los acuíferos se pueden clasificar en distintos tipos atendiendo a su estructura, su textura o su comportamiento, pueden ser:

A. Acuíferos según su Estructura

- **Acuíferos libres, no confinados o freáticos:** Son acuíferos cuyo piso es impermeable y su techo está a presión atmosférica. La recarga de este tipo de acuífero es directa y se realiza por infiltración del agua de lluvia a través de la zona no saturada o por infiltración de ríos o lagos. Son los más afectados en caso de sequía, ya que el nivel freático oscila con los cambios climáticos. Pozos muy someros se ven afectados, cuando el nivel freático desciende hasta por debajo de la profundidad total del pozo. Presentan espacio físico entre las aguas subterráneas y la superficie, el llamado nivel freático.
- **Acuíferos confinados, cautivos o a presión:** Limitados en su parte superior por una formación de baja a muy baja permeabilidad. La presión hidrostática a nivel del techo del acuífero es superior a la atmosférica y la recarga es lateral, cuando se realiza un pozo en este tipo de acuíferos, el agua contenida en ellos asciende rápidamente por su interior. Si el agua alcanza la superficie, al pozo se le llama surgente. Superficie potenciométrica se le denomina al nivel de agua virtual que se genera cuando se integran todos los niveles hidráulicos observados en los pozos del acuífero confinado.
- **Acuífero semiconfinados o semicautivos:** Son mucho más frecuentes en la naturaleza que los cautivos. El techo, el piso o ambos, están formados por capas de baja permeabilidad que si bien dificultan no impiden la circulación vertical del agua. Para que ello suceda, además de la permeabilidad deben existir diferencias de carga o potencial hidráulico entre el acuífero semiconfinado y otro superior o inferior. Los acuíferos semiconfinados se recargan y descargan a través de las unidades de baja permeabilidad, filtrante o acuitardos, ver figura N°14.

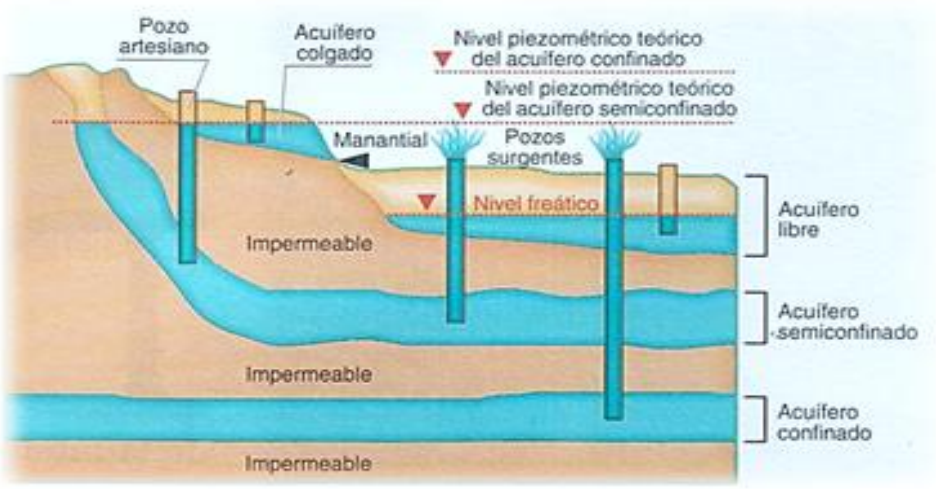


Figura N°14. Acuíferos según su estructura.
Fuente: http://lan.inea.org:8010/web/materiales/web/riego/anuncios/trabajos/webs/Iv%C3%A1n%20Gonzalo%20Tejero/los_acu%C3%ADferos_de_la_provincia_de.htm.

B. Acuíferos según su Textura

- **Acuíferos Porosos:** Presentan pequeños pero numerosos poros conectados unos con otros, aunque con leve permeabilidad (transmisión interna de agua). Tenemos como ejemplos de acuíferos porosos las formaciones de gravas aluviales y arenas.
- **Acuíferos Fisurales:** Presentan pequeñas fisuras las cuales también se encuentran comunicadas entre sí, pero con una diferencia su distribución hace que fluyan heterogéneamente debido a su distribución, ver figura N°15.

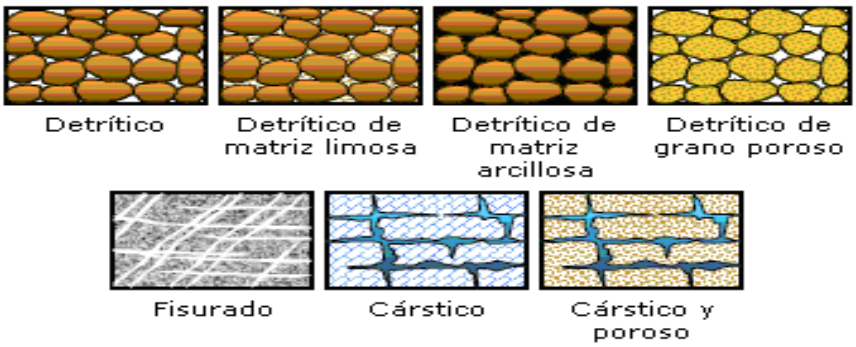


Figura N°15. Acuíferos según su textura. (Tupak Obando, 2010).

C. Acuíferos según su Comportamiento

Según su comportamiento hidrodinámico, es decir, de la movilidad del agua, pueden ser:

- **Acuíferos:** Toda formación geológica capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea a través de ella, pudiendo extraerse en cantidades significativas mediante obras de captación que son buenos almacenes y transmisores de aguas subterráneas.
- **Acuitardos:** Son formaciones semipermeables, que transmiten el agua muy lentamente y que resulta muy difícil su extracción mediante obras de captación, pero que son importantes para la recarga de acuíferos subyacentes, debido a la posible filtración vertical o drenaje.
- **Acuícludos:** Solo almacenes, más no transmisores.
- **Acuífugos:** Formaciones que no son capaces de almacenar ni transmitir el agua subterránea, son impermeables.

3.2.2 Recarga de un Acuífero

La recarga se puede definir como la entrada de agua dentro de la zona saturada donde comienza a hacer parte de las reservas subterráneas, esta entrada puede darse de dos maneras, por un movimiento descendente del agua debido a las fuerzas de gravedad y luego de presentarse un movimiento horizontal del flujo debido a las diferentes condiciones hidráulicas de las capas que constituyen el perfil del suelo (Balek, 1988).

El agua de las precipitaciones (lluvia, nieve) puede tener diferentes destinos una vez que se encuentra en el suelo, repartiéndose en tres partes: escorrentía, agua evaporada y el agua infiltrada que pasas a ser agua subterránea.

La proporción de infiltración respecto al total de las precipitaciones depende de varios factores:

a. La litología (la naturaleza del material geológico que aflora en la superficie); influye a través de su permeabilidad, la cual depende de la porosidad, del diaclasamiento (agrietamiento) y de la mineralogía del sustrato.

b. La pendiente marcada; el cual es desfavorable para la infiltración.

c. La vegetación densa; influye de forma compleja, porque reduce el agua que llega al suelo (interceptación), pero extiende en el tiempo el efecto de las precipitaciones, desprendiendo poco a poco el agua que moja el follaje, reduciendo así la fracción de escorrentía y aumentando la de infiltración.

3.2.3 Estructura de un Acuífero

Un acuífero es un terreno rocoso permeable, ubicado bajo la superficie, en donde se acumula y por donde circula el agua subterránea. Está conformada por:

- **Zona de Saturación:** Situada por encima de la capa impermeable, donde el agua rellena completamente los poros de las rocas. El límite superior de esta zona que lo separa de la zona de aireación es el nivel freático y varía según las circunstancias, descendiendo en épocas secas, cuando el acuífero no se recarga o lo hace a un ritmo más lento que su descarga y ascendiendo en épocas húmedas.
- **Zona de Aireación:** Es el espacio comprendido entre el nivel freático y la superficie, donde no todos los poros están llenos de agua.

Estas son partes imprescindibles de los acuíferos que permiten conocer la capacidad de almacenar y transmitir agua, y así poder establecer un modelo real de comportamiento del agua subterránea, ver figura N°16.

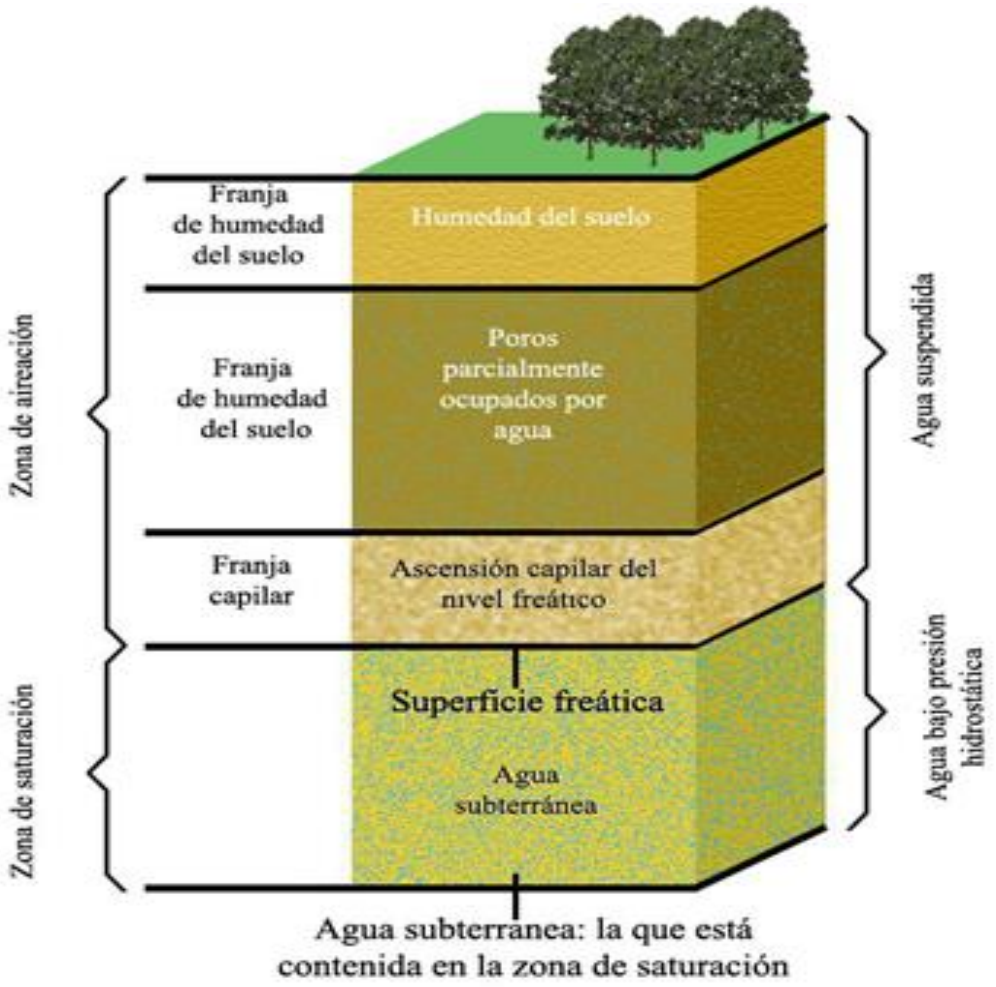


Figura N°16. Estructura de un acuífero.
Fuente: https://es.123rf.com/photo_67566661_las-capas-del-suelo-y-la-estructura-de-la-tierra-del-vector-acu%C3%ADfero.html

3.2.4 Permeabilidad o Conductividad Hidráulica (K)

Se refiere a la facilidad que tiene un acuífero en dejar pasar el agua a través del mismo. Depende de las características del medio (porosidad, tamaño, forma y arreglo de las partículas, compactación) y del fluido (viscosidad). Es por lo tanto el principal parámetro que caracteriza las propiedades hídricas de los materiales y el que registra mayor variación en función del material. La unidad de medida es en m/día, ver tabla N°10.

Tabla N°10. Valores de Permeabilidad o conductividad hidráulica representativos.

VALORES NORMALES DE K EN TERRENOS NATURALES (m/día)	
Grava limpia	1000
Arena gruesa limpia	10 a 1000
Arena fina	1 a 5
Arena limosa	0.1 a 2
Limo	0.001 a 0.5
Arcilla	<0.001

Fuente: Custodio & Llamas (1975).

3.2.5 Transmisividad (T)

Se refiere a la cantidad de agua que puede ser transmitida horizontalmente por el espesor saturado del acuífero. La unidad de medida es en m^2/día.

3.2.6 Coeficiente de Almacenamiento (S)

Se refiere al volumen capaz de liberar un acuífero, al descender en una unidad el nivel piezométrico. Es adimensional.

- **Acuíferos libres:** El coeficiente de almacenamiento es igual a la porosidad efectiva y en general presenta extremos de 0,05 y 0,30.
- **Acuíferos confinados:** El coeficiente de almacenamiento varía entre 10^{-4} y 10^{-5}.
- **Acuíferos semiconfinados:** El coeficiente de almacenamiento varía entre 10^{-3} y 10^{-4}.

3.3 DISEÑO DE POZOS DE AGUA

3.3.1 Pasos para el diseño.

La secuencia propuesta comienza por la certeza de la existencia del acuífero que se va a explotar y la calidad del agua contenida en el mismo. Continuando por el conocimiento de los parámetros hidráulicos. Queda definida hasta aquí la “posibilidad” y recién entonces plantearemos los “requerimientos” en cuanto a caudal “posibilidad” y altura manométrica que deberá entregar la bomba que se emplee con lo cual se selecciona la misma y entonces se establece las dimensiones del pozo, ver figura N°17.

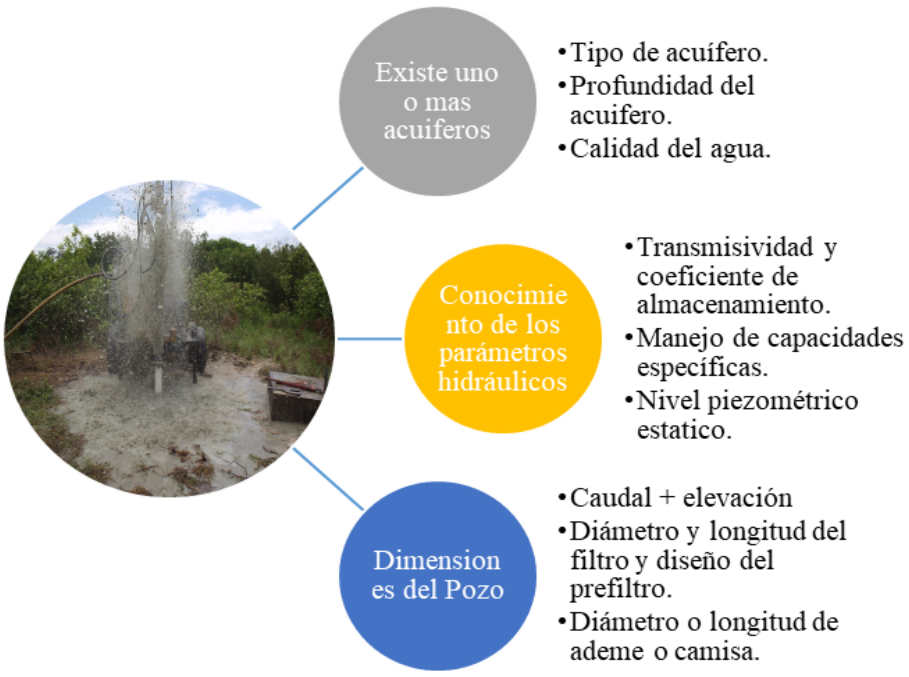


Figura N°17. Pasos para el diseño de Pozos
Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Profundidad Total del Pozo.

Depende del perfil litológico del terreno (identificación de las diferentes rocas o estratos) en el lugar de emplazamiento. Si está explotando un acuífero confinado o semiconfinado podrá alcanzar como máximo la profundidad del piso de ese acuífero o comienzo del estrato confinante inferior. Sin embargo, en otras ocasiones se prefiere alcanzar una profundidad menor a fin de no alterar el manto confinante inferior en cercanías del cual existe en general una zona de transición entre el material de mayor permeabilidad que conforma el acuífero y el de menor permeabilidad del manto confinante.

3.3.3 Entubado, ademe o encamisado.

Depende del perfil litológico del terreno. Si se desea explotar un acuífero confinado o semiconfinado que posee por encima otro acuífero que carezca de interés o bien deba aislarse debido a la calidad inadecuada del agua que posee, deberá entubarse o encamisarse (con un tubo o ademe) la totalidad del mismo y gran parte del estrato aislante que exista entre ambos. La misma situación puede presentarse en caso de

que los estratos de terreno superiores sean inestables. El diámetro de esta tubería será tal que permita el descenso por dentro de la misma de los tubos que ocuparán las porciones inferiores del pozo, incluyendo al filtro o rejilla y que exista el espacio suficiente para maniobras tales como construcción de prefiltros de gravilla, cementado o colocación de cierres en espacios anulares, etc. Por último, deberá poseer el diámetro mínimo para la instalación del equipo de bombeo. En muchas ocasiones este factor es el determinante.

3.3.4 Diámetro y longitud del filtro.

La longitud del filtro guarda relación con el tipo y granulometría del material que conforma el acuífero y con el caudal a extraer. Un factor importante que pesa a la hora de la decisión es el costo, ya que la rejilla suele ser el elemento comparativamente más costoso de los que componen el pozo, si se excluye el equipo de bombeo.

Para instalar el filtro se busca entonces una zona de composición homogénea y de mayor granulometría, sucede que, por la clasificación hidráulica en el caso de materiales como la arena, esta zona se encuentra en el tercio inferior del espesor del acuífero y allí se deberá instalar la unidad de filtración.

3.3.5 Selección de la abertura del filtro.

El tamaño de la abertura de filtro se selecciona en función de la granulometría del material que compone el acuífero y en su caso, de la granulometría del filtro o prefiltro de grava o gravilla que eventualmente se emplee. En este último caso la rejilla debe contener al material artificialmente agregado y no al que constituye el acuífero.

Los fabricantes de rejilla indican las velocidades óptimas o máximas que debe tener el agua al atravesar la superficie exterior de la misma. Un dato habitualmente manejado es limitar dicha velocidad a 3cm/s, a fin de disminuir las pérdidas de carga y disminuir el riesgo de las incrustaciones. Una velocidad baja ayuda a evitar asimismo el ingreso de los materiales que integran el acuífero (por arrastre de este).

El prefiltro o filtro es un empaque de grava artificial, que se coloca cuando el acuífero está compuesto por arenas de granulometría fina (aprox. hasta 0,25mm) o mediana (aprox. hasta 0,5mm), en cuyo caso las ranuras o aberturas de los filtros no pueden contener los granos que serían arrastrados por el agua bombeada. En este caso el filtro está constituido por la grava más la rejilla, ya que esta última actúa como soporte de aquella.

3.4 INTERPOLACION GEOESTADÍSTICA KRIGING ORDINARIO.

El Krigeado Ordinario, desde ahora KO, es un modelo matemático que data de los años 60, propuesto por el Dr. George Matheron (geo matemático francés fundador de la geoestadística), que busca dar solución al problema de la estimación de leyes en bloques, a partir de datos que se encuentren dentro de una denominada zona de dependencia (homogeneidad).

El KO, básicamente trabaja encontrando la mejor estimación lineal posible de la ley de un bloque, considerando la información disponible tanto al interior como al exterior del bloque que se requiere estimar.

A continuación, se puede observar la formula lineal del estimador [Z*(x)]:

$$Z*(x) = \sum_{i=0}^{n} (ai\ x\ \lambda i)$$

Donde:

ai: Ley de la muestra conocida

λi: Ponderador asociado a la muestra conocida

El estimador es insesgado y asegura minimizar la varianza de estimación. Esto último corresponde a una virtud del krigeado, dado que maximiza el provecho de la información, para obtener una estimación más precisa.

$$\sum_{i=0}^{n} \lambda i = 1$$

Es importante comentar que el KO, trabaja desconociendo el valor de la media de la variable regionalizada. Sin embargo, su aplicación debe ser en dominios de

carácter estacionario, conociendo momentos de segundo orden como el *variograma γ(h)* o la función de *covarianza C(h)*, ver figura N° 18.

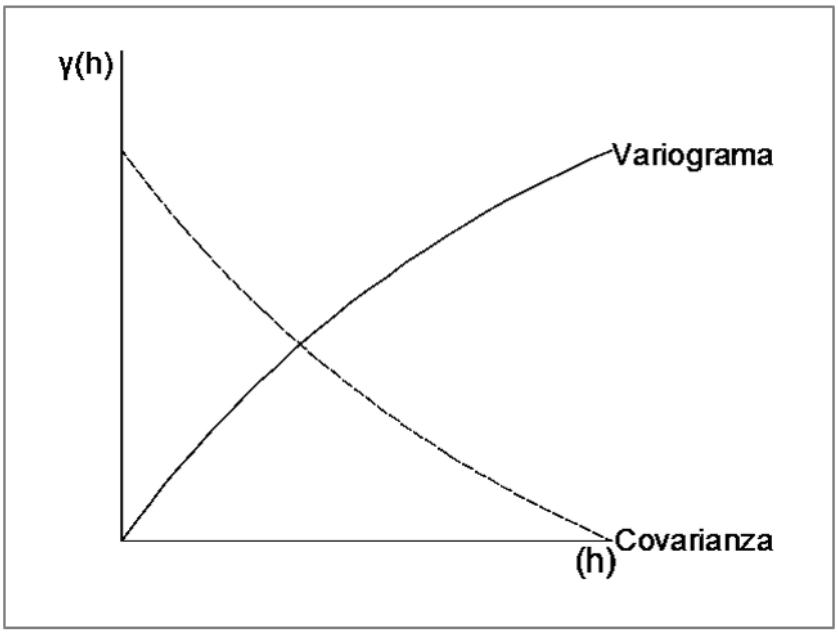


Figura N°18. Relación variograma con covarianza.
Fuente: https://nubeminera.cl/estimacion-de-bloques-3d-mediante-krigeado-ordinario/

La relación queda establecida según la siguiente ecuación:

$$C(h) = C(0) - \gamma(h)$$

Donde:

C(h): Covarianza.

C(0): Covarianza en el origen ó varianza σ^2.

γ(h): Semivariograma.

Las ponderaciones asignadas por este estimador a las muestras conocidas se establecen a través de un sistema de ecuaciones normalmente expresadas con los valores del semivariograma:

$$\sum_{i=0}^{n} \lambda i * \boldsymbol{\gamma}(xi - xj) + \mu = \boldsymbol{\gamma}(\boldsymbol{xi}, \boldsymbol{V})$$

De este sistema, se observa que son estudiadas las redundancias entre los datos conocidos y las correlaciones entre datos conocidos y puntos a estimar.

La expresión “μ”, corresponde al multiplicador de Lagrange, que, para fines de este documento, entenderemos como una acción necesaria para obtener la condición de insesgo.

La varianza de estimación del método se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$S^2(x) = \sum_{i=0}^{n} \lambda i * \boldsymbol{\gamma}(V, xi) + \mu - \boldsymbol{\gamma}(\boldsymbol{V}, \boldsymbol{V})$$

Donde:

γ(V;xi): Varianza de dispersión punto volumen

γ(V;V): Varianza de dispersión volumen

λi: Ponderación asignada a la muestra

μ: Multiplicador de Lagrange

Entonces las ecuaciones del krigeado por bloques expresadas con el semivariograma, serán:

$$\begin{pmatrix} 0 & \boldsymbol{\gamma}_{12} & \cdots & \boldsymbol{\gamma}_{1n} & 1 \\ \boldsymbol{\gamma}_{21} & 0 & \cdots & \boldsymbol{\gamma}_{2n} & 1 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \boldsymbol{\gamma}_{n1} & \boldsymbol{\gamma}_{n2} & \cdots & 0 & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \boldsymbol{\lambda}_1 \\ \boldsymbol{\lambda}_2 \\ \cdots \\ \boldsymbol{\lambda}_n \\ \boldsymbol{\mu} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{\gamma}_{V_k,1} \\ \boldsymbol{\gamma}_{V_k,2} \\ \cdots \\ \boldsymbol{\gamma}_{V_k,n} \\ \mathbf{1} \end{pmatrix}$$

Se utilizó Kriging, el cual es un método geoestadístico, a partir de una muestra de puntos puede proveer valores estimados de donde no hay información, utiliza un modelo de variograma (Clark y Harper, 2000).

Para entender realmente el kriging, hay que saber lo que es la interpolación, a través del cual estamos prediciendo valores desconocidos en otros lugares.

Con un método de interpolación como la ponderación de distancia inversa, usted está haciendo predicciones.

Para generar los mapas se empleó el algoritmo de interpolación de Kriging, controlando que el programa no realizara extrapolaciones negativas de los valores

de resistividad. En los mapas se denotó la ubicación de los sondeos con las letras SEV y el número del sondeo, ver figura N°19.

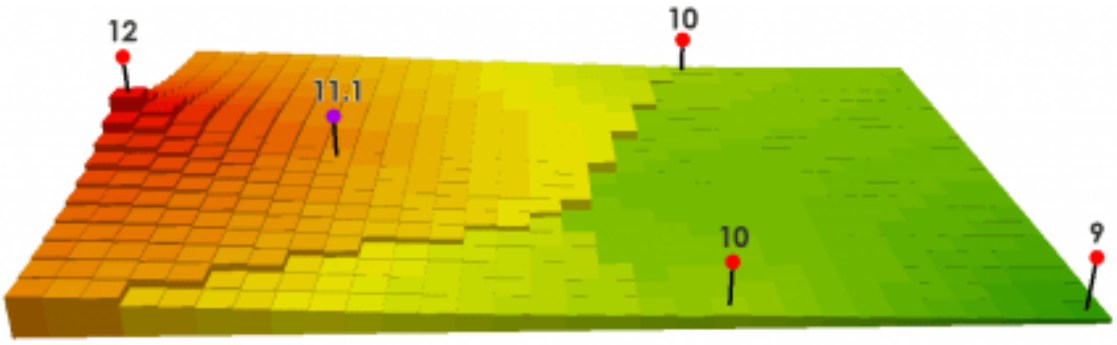


Figura N°19. Método de interpolación tridimensional de sondajes.
Fuente: https://acolita.com/geoestadistica-interpolacion-con-kriging/

3.4.1 Interpolación de Kriging

Son los datos de entrada se utilizan para construir una función matemática con un semivariograma, crear una superficie de predicción y, luego, validar el modelo con validación cruzada.

La geoestadística no sólo proporciona una superficie de predicción óptima, sino que también proporciona una medida de confianza sobre la probabilidad de que esa predicción sea cierta, ver figura N°20.

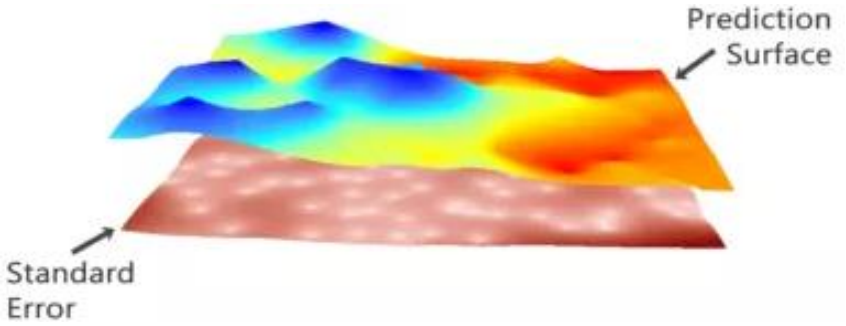


Figura N°20. Modelos de predicción de superficie con su resultado de estándar de error después del cálculo.
Fuente: https://acolita.com/geoestadistica-interpolacion-con-kriging/

Mientras tanto, kriging puede generar las superficies de predicción y las superficies que describen qué tan bien predice su modelo:

- **Predicción:** Esta recta de superficie predice los valores de su variable que está kriging.
- **Error de predicción:** Si representa el error estándar con un estándar de error más alto donde no hay tantos datos de entrada.
- **Probabilidad:** La superficie de probabilidad resalta cuando excede un umbral.
- **Cuantil:** Esta superficie representa un escenario del mejor o peor caso como un percentil 99.

La clave de Kriging es el semivariograma. En términos simples, los semivariogramas cuantifican la autocorrelación porque grafican la varianza de todos los pares de datos según la distancia.

Lo más probable es que las cosas más cercanas estén más relacionadas y tengan una pequeña semivarianza. Mientras que las cosas lejanas están menos relacionadas y tienen una alta semivarianza.

Pero a cierta distancia (rango), la autocorrelación se vuelve independiente. Donde esa variación se nivela, se llama (umbral). Esto significa que ya no hay ninguna autocorrelación espacial o relación entre la cercanía de sus puntos de datos. Este concepto es la Primera Ley de Geografía de Tobler, ver Figura N°21.

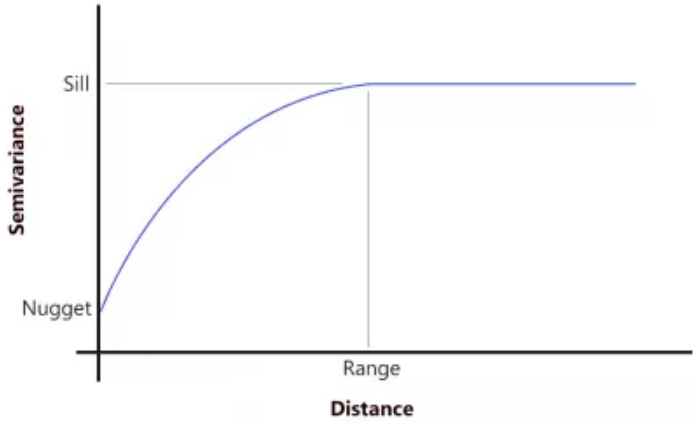


Figura N°21. Partes de un Variograma.
Fuente: https://acolita.com/geoestadistica-interpolacion-con-kriging/

Una vez más, el propósito aquí es encajar una superficie como un polinomio que modela la tendencia general a gran escala. Luego, en torno a esa tendencia, tenemos variabilidad con los residuos en los que interviene el kriging.

Basándose en los resultados de su semivariograma, puede seleccionar un semivariograma esférico, circular, exponencial, gaussiano o lineal. Alternativamente, si puedes hacer una justificación intelectual para un modelo matemático, entonces escoges esa. Ver figura N° 22.

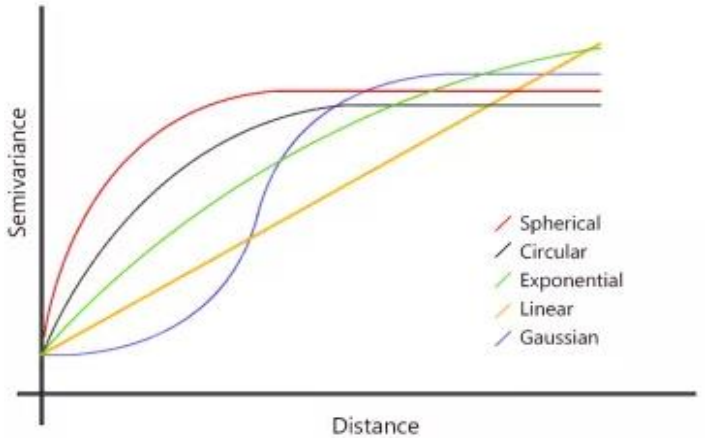


Figura N°22. Clases de modelos teóricos de un variograma.
Fuente: https://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Estadistica_espacial.html

Incluso antes de comenzar el kriging, sus datos deben cumplir con este criterio antes del kriging ordinario.

Kriging es la técnica de interpolación óptima si sus datos cumplen ciertos criterios. Pero si no cumplen estos criterios, puedes masajearlo o elegir una técnica de interpolación diferente.

- Sus datos deben tener una distribución normal.
- Los datos deben ser estacionarios.
- Sus datos no pueden tener tendencias.

CAPÍTULO IV

INSTRUMENTAL GEOFÍSICO, ADQUISICIÓN DE DATOS EN CAMPO

4.1 EQUIPO Y ACCESORIOS

En la ejecución de los SEVs se utilizó el siguiente instrumental geofísico:

a. Un Georesistivímetro Transmisor–Receptor, Marca WargPower, Modelo G–1124 (figura N°23). Con las siguientes especificaciones técnicas:

   Modo transmisión de energía: terminales A – B.

   - Potencial 1ro. De 0 a 400 V, con batería interna de 12 VDC.
   - Medición digital de la corriente (I) de sondaje vertical:
   - Potencial 1ro. , rango de 0 a 499 mA, automático.

   Modo de recepción en terminales M N.

   - Rango de 0 a 999 mV. Automático

b. Un transmisor de corriente continua que tiene una potencia de salida de 200 watts y un voltaje de 600 voltios.

Figura N°23. Georesistivímetro Transmisor–Receptor WargPower, Modelo G–1124 con tensión máxima, utilizado en el campo.

Accesorios:

a. 02 bobinas con cables AB para ejecución de los SEV de 500 m cada uno (emisor). Ver figura N°24a.
b. 02 bobinas con cables MN de 100 m cada uno (receptor).
c. 02 electrodos de cobre que actúan como MN.
d. 02 electrodos de acero inoxidable que actúan como AB.
e. 02 combos de 08 libras.
f. 01 GPS Garmin 62s, precisión +/- 3m posicionamiento horizontal. Ver figura N°24 b.
g. 01 maletín de Herramientas (Alicates, cintas aislantes, masking y Cut).
h. 01 botiquín de primeros auxilios y extintor botas y guantes dieléctricos.

a) b)

Figura N°24. a) Bobinas con cables para la ejecución de los SEV. b) GPS Garmin.

4.2 ADQUISICIÓN DE DATOS EN CAMPO

En la zona evaluada se realizaron 21 Sondajes Eléctricos Verticales, ubicados en el margen derecho del río Sama; su ubicación se muestra en el mapa N°3; estos se distribuyen en los centros poblados de Buena Vista (tabla N°11) y Miraflores (tabla N°12).

El método utilizado consistió en inyectar corriente en miliamperios (mA) al terreno y recibir una respuesta como diferencia de potencial en milivoltios (mV), a partir de los datos de corriente y potencial se obtuvo la resistividad aparente del subsuelo,

aplicándose el arreglo Schlumberger del tipo simétrico, los sondajes tienen un espaciamiento de AB/2 de 1m hasta los 200m, ver tabla N°13.

Tabla N°11. Ubicación de los SEVs en el Centro Poblado Buena Vista.

SEV	ALTITUD (msnm)	COORDENADAS
SEV-01	434	337,754 - 8'027,054
SEV-02	433	337,417 - 8'026,810
SEV-03	427	337,190 - 8'026,526
SEV-04	420	336,864 - 8'026,123
SEV-05	420	336,556 - 8'025,957
SEV-06	444	337,359 - 8'027,183
SEV-07	440	337,242 - 8'027,040
SEV-08	434	337,001 - 8'026,729
SEV-09	429	336,791 - 8'026,492
SEV-10	426	336,538 - 8'026,172
SEV-20	444	337,245 - 8'027,505
SEV-21	445	337,068 - 8'027,597

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°12. Ubicación de los SEVs en el Centro Poblado Miraflores.

SEV	ALTITUD (msnm)	COORDENADAS
SEV-11	420	336,118 - 8'026,058
SEV-12	419	335,921 - 8'026,129
SEV-13	419	335,556 - 8'026,231
SEV-14	420	335,255 - 8'026,223
SEV-15	418	335,006 - 8'026,209
SEV-16	413	334,878 - 8'025,951
SEV-17	411	334,785 - 8'025,697
SEV-18	406	334,705 - 8'025,477
SEV-19	404	334,613 - 8'025,252

Fuente: Elaboración propia.

En el SEV de configuración Schlumberger, los electrodos están alineados y conservan simetría con respecto al punto central o punto SEV, debiendo cumplir la relación $AB > 5MN$.

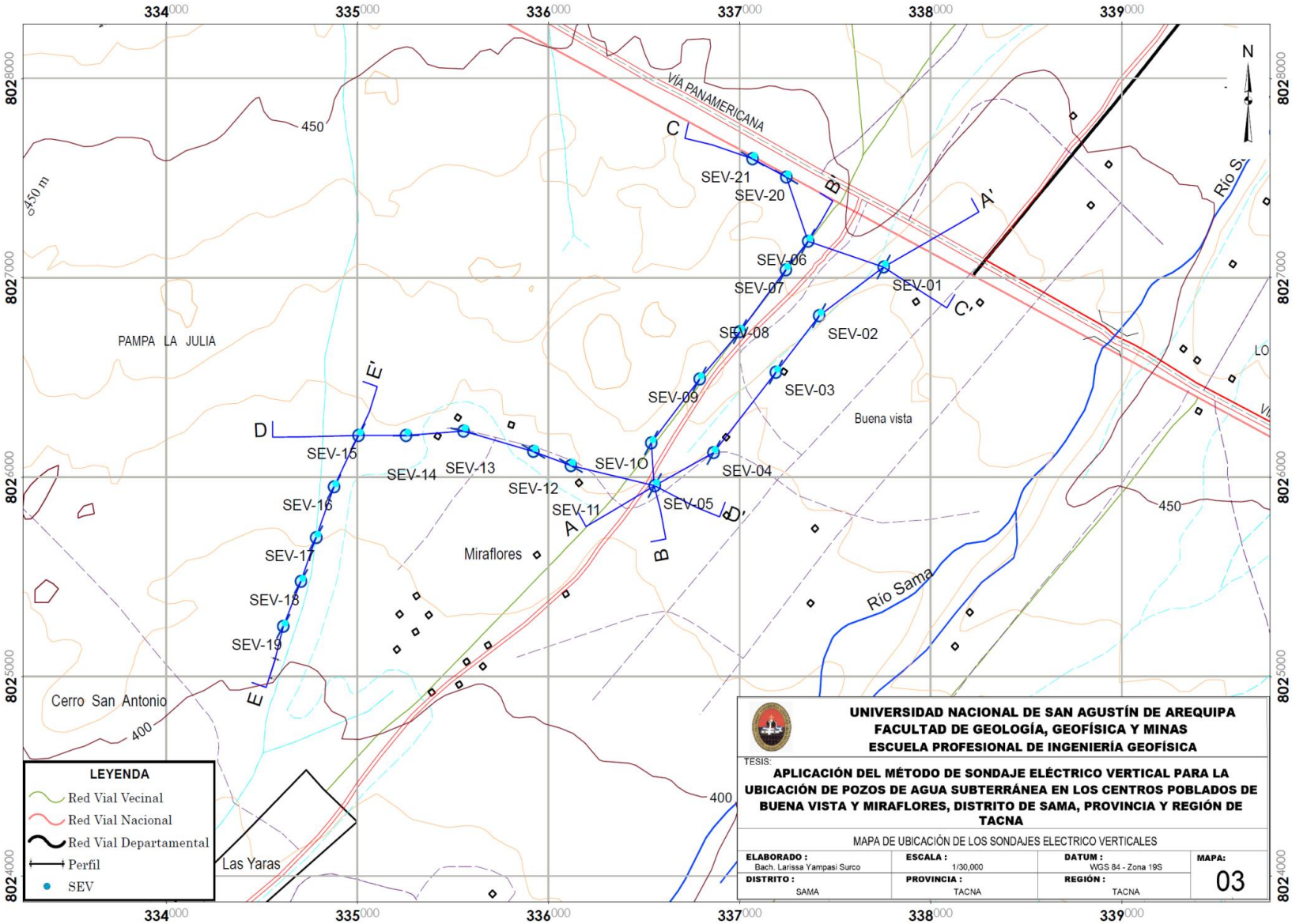

334000
335000
336000
337000
338000
339000
8028000
8027000
8026000
8025000
8024000
VÍA PANAMERICANA
Río Sama
PAMPA LA JULIA
Buena vista
Miraflores
Cerro San Antonio
Las Yaras
450
400
SEV-01
SEV-02
SEV-03
SEV-04
SEV-05
SEV-06
SEV-07
SEV-08
SEV-09
SEV-10
SEV-11
SEV-12
SEV-13
SEV-14
SEV-15
SEV-16
SEV-17
SEV-18
SEV-19
SEV-20
SEV-21
A
A'
B
B'
C
C'
D
D'
E
E'
N
LEYENDA
Red Vial Vecinal
Red Vial Nacional
Red Vial Departamental
Perfil
SEV
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA
TESIS:
APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA
MAPA DE UBICACIÓN DE LOS SONDAJES ELECTRICO VERTICALES
ELABORADO : Bach. Larissa Yampasi Surco
ESCALA : 1/30,000
DATUM : WGS 84 - Zona 19S
MAPA: 03
DISTRITO : SAMA
PROVINCIA : TACNA
REGIÓN : TACNA

Tabla N°13. Parámetro de los espaciamientos máximos y mínimos de los sondajes eléctricos verticales.

SEV	AB/2 (mínimo)	AB/2 (máximo)	MN (mínimo)	MN (máximo)	Profundidad aproximada (m)
SEV-01	1.0	150	0.5	50	50
SEV-02	1.0	150	0.5	15	70
SEV-03	1.0	150	0.5	15	70
SEV-04	1.0	150	0.5	15	70
SEV-05	1.0	150	0.5	15	70
SEV-06	1.0	150	0.5	15	70
SEV-07	10.0	200	5.0	50	99
SEV-08	10.0	200	5.0	50	140
SEV-09	10.0	250	5.0	50	125
SEV-10	10.0	100	5.0	15	91
SEV-11	1.0	150	0.5	15	70
SEV-12	1.0	150	0.5	15	100
SEV-13	1.0	150	0.5	15	70
SEV-14	1.0	150	0.5	15	70
SEV-15	1.0	150	0.5	15	100
SEV-16	1.0	150	0.5	15	82
SEV-17	1.0	150	0.5	15	70.5
SEV-18	1.0	150	0.5	15	70
SEV-19	1.0	150	0.5	15	70
SEV-20	10.0	200	5.0	50	70
SEV-21	10.0	200	5.0	50	70

Fuente: Elaboración propia.

Al aumentar la distancia entre los electrodos de emisión de corriente, aumenta su profundidad de penetración y también va cambiando las resistividades aparentes. Estos valores son ploteados en papel logarítmico obteniéndose como resultado una curva, a partir de la cual, mediante diversas técnicas, es posible determinar las resistividades verdaderas y los espesores que las diferentes capas tienen bajo el punto de investigación.

De esta manera, se llega a conocer el corte geoeléctrico del subsuelo. En el SEV con configuración Schlumberger, los electrodos M y N permanecen fijos mientras A y B se aleja, hasta que el valor del ΔV sea tan pequeño que obligue a aumentar MN, ver figura N°25.

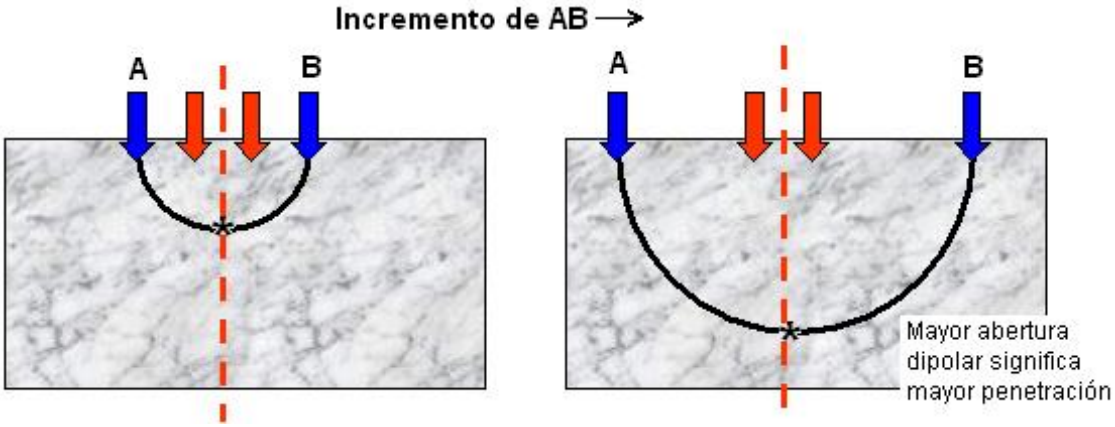


Figura N°25. Un SEV permite realizar un escaneo geoeléctrico en función de la profundidad, manteniendo el eje vertical fijo.
Fuente: http://www.geofisica.cl/GMPE/Software_GeoMod.htm

Estos cambios de M y N resultan en un salto de resistividad aparente para la misma distancia AB, cuando se presentan heterogeneidades laterales. Estos saltos se corrigen para la interpretación, así como también, a veces hay necesidad de suavizar la curva de resistividades aparentes obtenida en campo.

El método ha sido ideado para estructuras constituidas por capas homogéneas paralelas con extensión lateral muy grande, lo cual no se cumple en la realidad, presentándose adelgazamientos o desapariciones de las capas, así como también se presenta variaciones laterales de resistividad.

Por ello y debido a otras limitaciones del método los resultados obtenidos presentan un margen de error que podría llegar normalmente a más o menos 10% del valor determinado en la interpretación.

Las fotografías N°1 y N°2 muestran las actividades realizadas durante la adquisición de datos de campo.

Fotografía N°1. Medición en el SEV-04, orientado en dirección longitudinal al río Sama, realizado en terrenos de cultivo.

Fotografía N°2. Medición del SEV-21, orientado con dirección transversal a la zona de estudio, paralelo a la vía Panamericana Sur.

CAPÍTULO V

PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE DATOS

5.1 LABOR DE GABINETE

La metodología actual de interpretación mediante curvas patrón presenta algunos inconvenientes que implica la observación gráfica para seleccionar correctamente la curva apropiada, se requiere de una colección amplia de curvas patrón y resolver cómo ajustar los datos obtenidos en terreno frente a los datos almacenados en las tablas de Orellana y Mooney (esto podría incurrir en errores de manipulación de los datos). En la figura N°26 se distinguen las piezas principales que permiten resolver y contar con un proceso adecuado de interpretación mediante una curva patrón. Se identifica la toma de datos del terreno, como información a ser utilizada por el proceso denominado Interpretación mediante curva patrón. Para controlar o regular el proceso, se incorporan tres componentes importantes de control, el primero las tablas de datos que conforman las curvas de patrón, en segundo lugar, la clasificación de las curvas y, en tercer lugar, el ajuste de curvas. Estos controles permiten que la salida de información del proceso tenga un alto resultado de éxito. La salida se considera como información producida por el proceso, entregando como resultado el ajuste de las curvas de campo o terreno con las curvas patrón.

Como mecanismo de llevar a cabo todo el proceso, es necesario contar con un computador y un software apropiado, el software libre de resistividad eléctrica utilizado es el **IPI2WIN** de origen ruso.

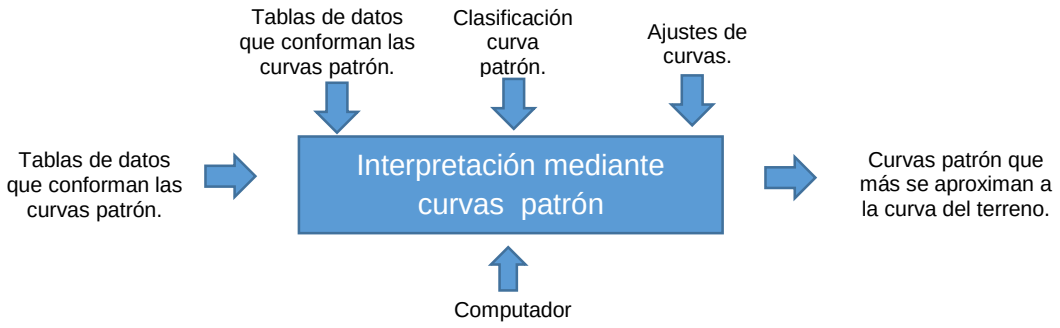


Figura N°26. Proceso de interpretación de Curvas Patrón. (Lic. Luis Rodrigo Pizarro, Universidad Andrés Bello 2015)

Los 21 SEVs realizados en la zona de estudio permitieron tener 05 secciones Geoeléctricas denominadas con letras de la **A** hasta la **E.** Ver tabla N°14.

Tabla N°11. Cuadro de Secciones Geoeléctricas con sus respectivos SEVs.

SECCIONES GEOELÉCTRICAS	SONDAJES ELÉCTRICOS VERTICALES
A-A’	SEV-05, SEV-04, SEV-03, SEV-02, SEV-01
B-B’	SEV-05, SEV-10, SEV-09, SEV-08, SEV-07, SEV-06
C-C’	SEV-21, SEV-20, SEV-06, SEV-01
D-D’	SEV-15, SEV-14, SEV-13, SEV-12, SEV-11, SEV-05
E-E’	SEV-19, SEC-18, SEV-17, SEV-16, SEV-15

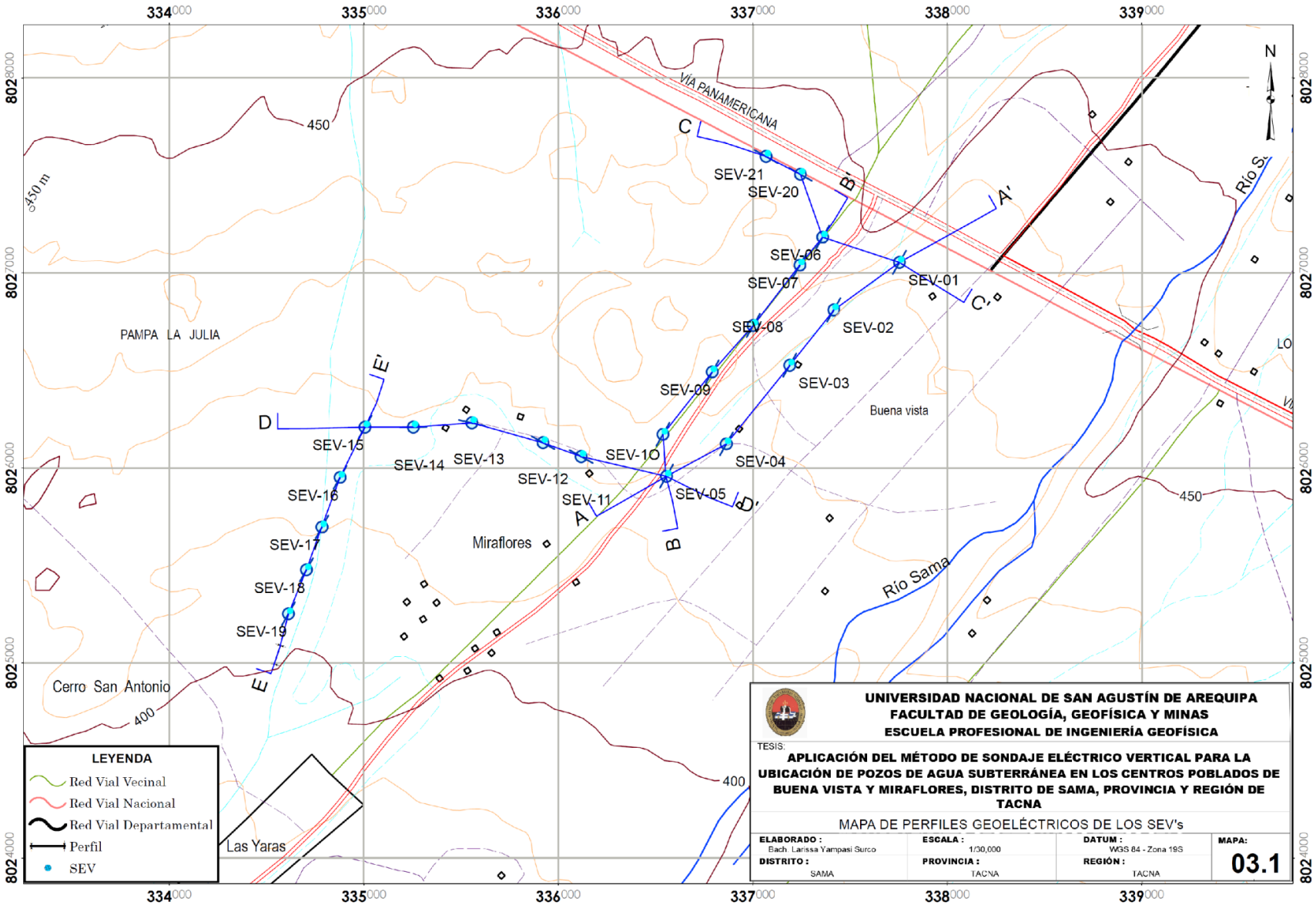
Fuente: Elaboración propia

Las Secciones Geoeléctricas **A-A’, B-B’ y E-E’** son longitudinales con dirección **SO-NE** y **C-C’, D-D’,** son transversales con dirección **NO-SE** al río Sama, ver mapa N°03.1.

5.2 PROCESAMIENTO DE DATOS

Para el procesamiento de datos obtenidos se utilizaron los siguientes softwares:

- Microsoft Excel (para obtener de manera cuantitativa las resistividades aparentes del subsuelo en cada sondeo).
- Bloc de Notas (permite exportar los valores de resistividades aparente al IPI2WIN).
- Software IPI2WIN, que permitió representar gráficamente los espesores de las capas, resistividades teóricas y verdaderas del subsuelo, y correlacionar valores de resistividades entre sondeos eléctricos verticales. (tesis de Br. Pérez Moreno, Nohelia del Rocío y Br. Sánchez Caro, Carlos Paúl)
- Software Oasis Montaj, software que permite para la interpolación de datos y obtención de imágenes tridimensionales.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA
TESIS:
APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA
MAPA DE PERFILES GEOELÉCTRICOS DE LOS SEV's
ELABORADO : Bach. Larissa Yampasi Surco
ESCALA : 1/30,000
DATUM : WGS 84 - Zona 19S
MAPA: 03.1
DISTRITO : SAMA
PROVINCIA : TACNA
REGIÓN : TACNA
LEYENDA
Red Vial Vecinal
Red Vial Nacional
Red Vial Departamental
Perfil
SEV
VÍA PANAMERICANA
PAMPA LA JULIA
Buena vista
Miraflores
Cerro San Antonio
Las Yaras
Río Sama
Río S
SEV-01
SEV-02
SEV-03
SEV-04
SEV-05
SEV-06
SEV-07
SEV-08
SEV-09
SEV-10
SEV-11
SEV-12
SEV-13
SEV-14
SEV-15
SEV-16
SEV-17
SEV-18
SEV-19
SEV-20
SEV-21
A
A'
B
B'
C
C'
D
D'
E
E'
450
400
450 m
N
334000
335000
336000
337000
338000
339000
8028000
8027000
8026000
8025000
8024000

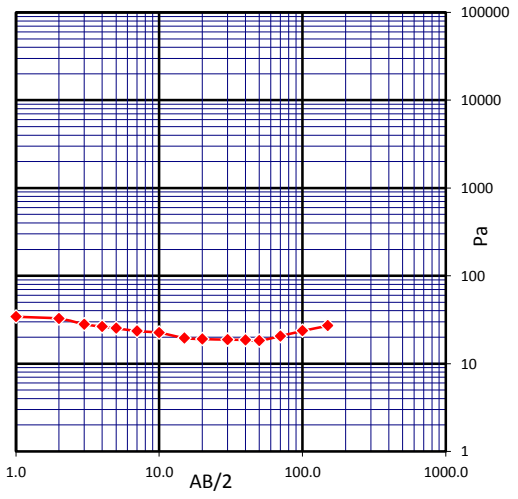
5.2.1 Microsoft Excel y bloc de notas

En una hoja de cálculo de Excel se introdujeron los valores de AB/2 y MN, así como las lecturas del georesistivimétro para completar las columnas de ΔV e I usando el formato mostrado en la tabla N°15, en el cual, se suministraron fórmulas para obtener de manera automática los valores del factor geométrico (K) y resistividad aparente (ρ_a) en cada medición.

Posteriormente se elaboró un archivo en el Bloc de Notas, con formato .DAT (formato es compatible con el programa IPI2WIN), y se guardaron, sólo los datos de las resistividades aparentes obtenidas, las distancias AB/2, nombre del sondeo y fecha de la medición, ver figura N°27.

Tabla N°12. Plantilla de datos geoeléctricos para SEVs tipo Schlumberger (SEV-01).

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρ	OBSERVACIÓN
1.0	0.5	5.89	133.60	23.00	34	
2.0	0.5	24.74	101.00	77.00	32	
3.0	1.5	17.67	146.00	92.00	28	
4.0	1.5	32.33	40.80	50.00	26	
5.0	1.5	51.18	51.80	105.00	25	
7.0	1.5	101.4	8.80	38.00	23	
10	1.5	208.3	2.80	26.00	22	
15	5	137.40	7.40	52.00	20	
20	5	247.4	7.30	95.00	19	
30	15	176.7	20.00	188.70	19	
40	15	323.3	7.30	127.00	19	
50	15	511.8	12.00	337.10	18	
70	15	1014.5	7.40	365.00	21	
100	15	2082.6	2.60	230.00	24	
150	50	1374.4	2.90	147.90	27	



Fuente: Elaboración propia.

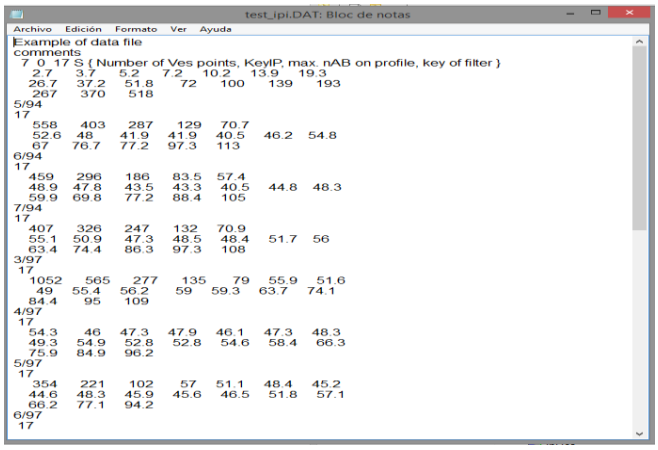


Figura N°27. Formato *.dat, para el IPI2WIN.
Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Programa IPI2WIN

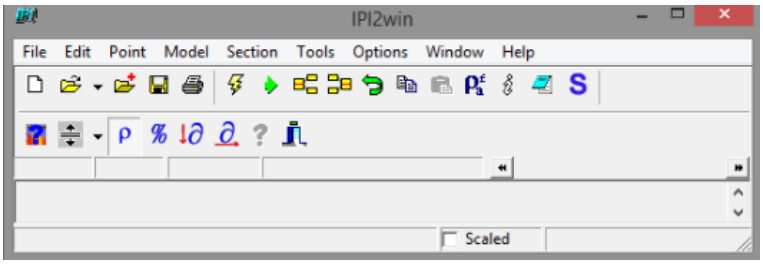
Este software está diseñado para presentar de manera gráfica, una interpretación geológica de forma automática o semiautomática mediante datos de sondeos eléctricos verticales obtenidos en campo, a través de un arreglo conocido, como Schlumberger.

5.2.3 Elaboración de las curvas SEV

Fueron hechas a partir de los resultados obtenidos en campo, el procedimiento empleado consistió básicamente en:

Presione inicio de Windows, escriba IPI2WIN e inmediatamente seleccionar en la barra superior “nuevo perfil”, representado por el icono en la figura N°28a; posteriormente ubicar y abrir el archivo (con formato .DAT) selecciona y abrir según muestra la figura N°28 b.

a)



b)

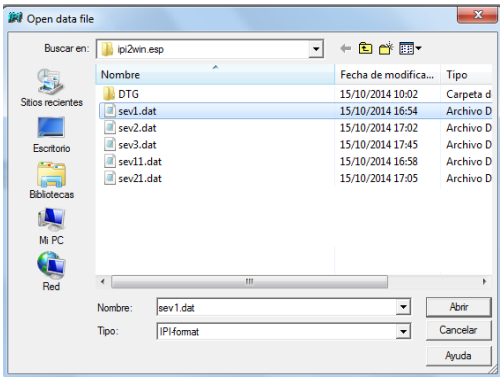


Figura N°28. a) Menú principal de IPI2WIN, b) Cuadro de dialogo para seleccionar el archivo.

Ubicar y presionar “curva de campo”; ρ_a^{ε} inmediatamente se despliega en la pantalla, la curva de campo, la cual, se encuentra a escala logarítmica en ambos ejes de coordenadas y representa los valores de resistividad y aberturas AB/2. Ver figura N°29.

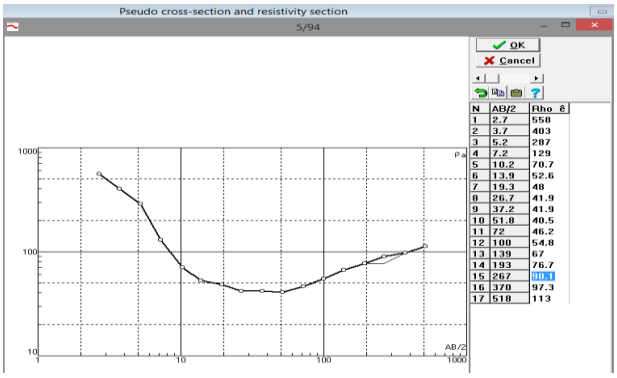


Figura N°29. Gráfica de la curva de campo y la modelo.
Fuente: Elaboración propia.

Al obtener la curva de campo de cada sondeo, se realiza el modelado en una dimensión (1D) de dicha curva. Para ello se debe presionar en la barra superior “opciones”, ubicar la pestaña “New Model”, y definir el número de capas que se desea tener en la curva, como muestra la figura N°30; dicha definición dependerá

del criterio del operador. La calibración del nuevo modelo permite crear un mayor ajuste entre la curva de campo y la teórica, teniendo un parámetro de inversión establecido.

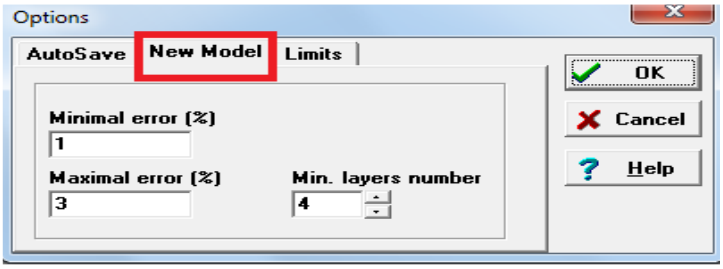


Figura N°30. Parámetros de ajustes de la curva modelo.
Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, se debe ubicar el ícono en la barra superior y hacer clic en él, de esta forma, se realizan las iteraciones entre la curva teórica (línea color rojo) y la curva de campo (línea color negro), según el error de ajuste que presentan los parámetros del modelo, ver figura N°31.

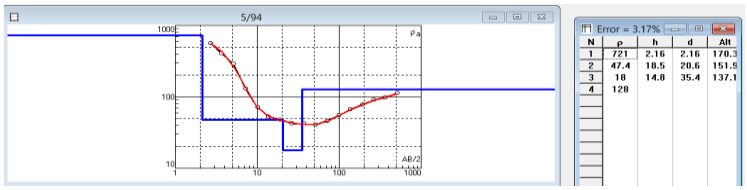


Figura N°31. Inversión de la curva modelos con los valores del campo.
Fuente: Elaboración propia.

5.2.4 Construcción de Secciones geoeléctricas (pseudosecciones)

Esta herramienta permite agrupar dos (2) o más sondeos eléctricos verticales para realizar correlaciones laterales entre sí, según su distribución geográfica.

Para ello se empleó el programa IPI2WIN y el procedimiento consistió en agrupar y guardar en un solo archivo con formato .DAT, los datos de los SEV a correlacionar resistividad aparente "ρ_a" y las distancias de mediciones "AB/2" realizadas, ver figura N°27, teniendo en cuenta, que la separación entre ambos debe ser corta y deben encontrarse a una altura más o menos equivalente entre sí.

Luego en IPI2WIN, se debe abrir el archivo al igual como si se fuese a obtener la curva de campo como muestra la figura N°32. Inmediatamente aparece una ventana emergente llamada “information”, en la cual se expresa el tipo de arreglo utilizado en campo (Schulemberg, AB/2) y el nombre del SEV realizado, en dicha ventana se hace clic en “Ok” y seguidamente el programa modela gráficamente dos (2) figuras: la pseudosección de resistividad aparente y la sección de resistividad verdadera, ver figura N°33.

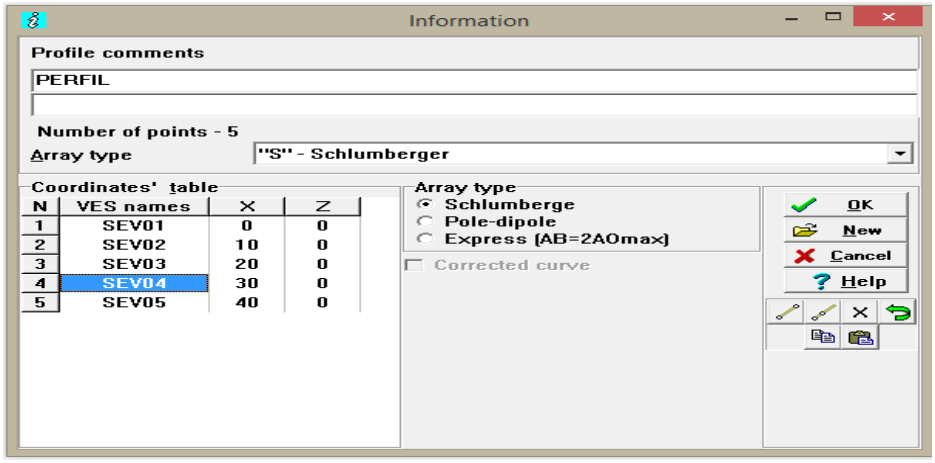


Figura N°32. Tabla de diálogo para ploteo de sección geoeléctrica.
Fuente: Elaboración propia.

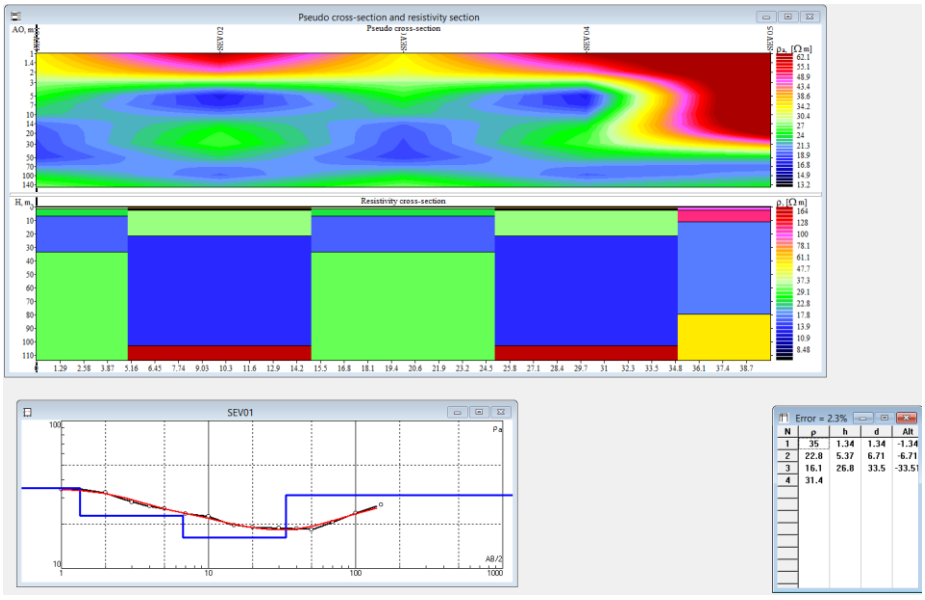


Figura N°33. Pseudosección creada desde el programa.
Fuente: Elaboración propia.

Al obtener la pseudosección y la resistividad verdadera, se pueden modificar los colores de estas, así como la escala y los valores máximos y mínimos de resistividades; para ello se debe acceder a “sección” ubicada en la barra superior y luego hacer clic en “parámetros”, ver figura N°34.

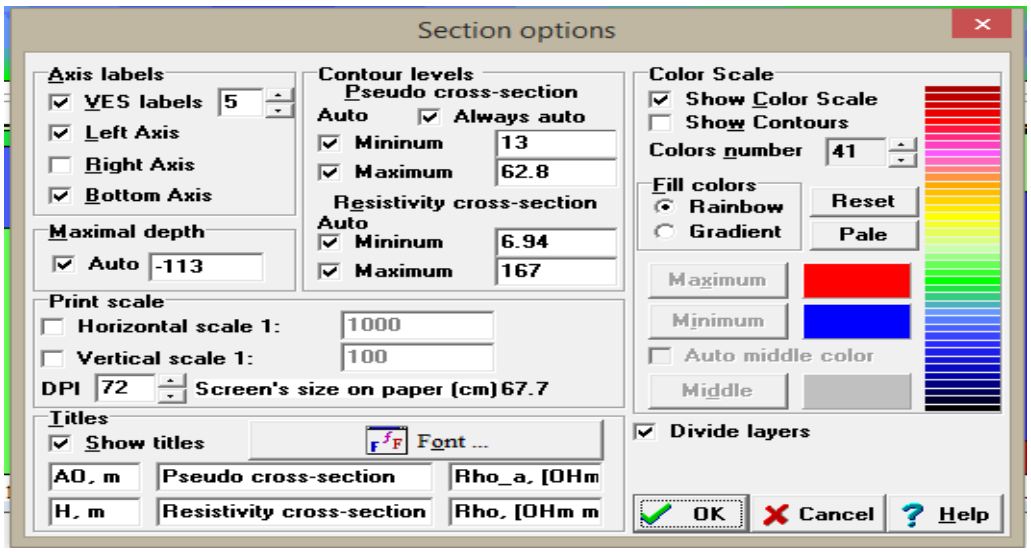


Figura N°34. Parámetros de la pseudosección en su presentación como resultado.
Fuente: Elaboración propia.

5.3 INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA

5.3.1 Interpretación Cualitativa

Se han determinado 05 Secciones Geológicas – Geofísicas, donde se han definido 04 Horizontes (H), según muestra la tabla N°16; de acuerdo con los valores obtenidos de las resistividades, la geología de la zona y los resultados de un pozo perforado en el año 2008 a una distancia aproximada de 2.5Km de la zona de estudio.

Tabla N°13. Descripción de Horizontes.

HORIZONTE (H)	DESCRIPCIÓN
Horizonte I – No Saturado Superficial	Grava, arena, limo en estado seco y/o húmedo – Regular y buena permeabilidad.
Horizonte II – No Saturado Subsuperficial	Grava, gravilla, arena y limo en estado seco – Regular y buena permeabilidad.
Horizonte III – Saturado Acuífero permeable	ACUÍFERO: Gravilla, arena y limos saturados – Regular y buena permeabilidad.
Horizonte IV – Saturado, acuífero Semi-impermeable	Flujo de barro y/o arcillas con limos –Semi-impermeable.

Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.1 Sección Geológica – Geofísica A – A'

Tiene una orientación suroeste - noreste, longitudinal a la zona de estudio, compuesta por los SEV - 05, 04, 03, 02 y 01, (tabla N°17) con una longitud de 1648m, ver Lámina N°01, diferenciándose en esta sección tres horizontes geoeléctricos que se describen a continuación:

Tabla N°14. Valores Sección A – A'.

H	SEV 05		SEV 04		SEV 03		SEV 02		SEV 01	
	ρ (Ω m)	E(m)	ρ (Ω m)	E(m)	ρ (Ω m)	E(m)	ρ (Ω m)	E(m)	ρ (Ω m)	E(m)
II	91/130/75	1/3/6	66/105	2/8	99/120	2/8	74/13/43	1/4/5	36/24	1/6
III	16	60	33/11	10/50	26/14	10/50	32/12	12/48	14/25/12	8/15/20
IV	40		44		55		50		52	

Fuente: Elaboración propia.

Horizonte I - No saturado superficial

Este horizonte no se ha determinado en el perfil A-A´ de acuerdo a los valores de resistividad encontrados, probablemente haya sido erosionado.

Horizonte II - No saturado subsuperficial

Presenta resistividades de 13 a 130Ohm-m; valores que corresponden a materiales de regular y buena permeabilidad con granulometría variada de origen fluvio - aluvial

(grava, gravilla, arena y limo) en estado seco, pertenece al cuaternario reciente. Tiene un espesor que varía de 7 a 10m.

Horizonte III - Saturado acuífero permeable

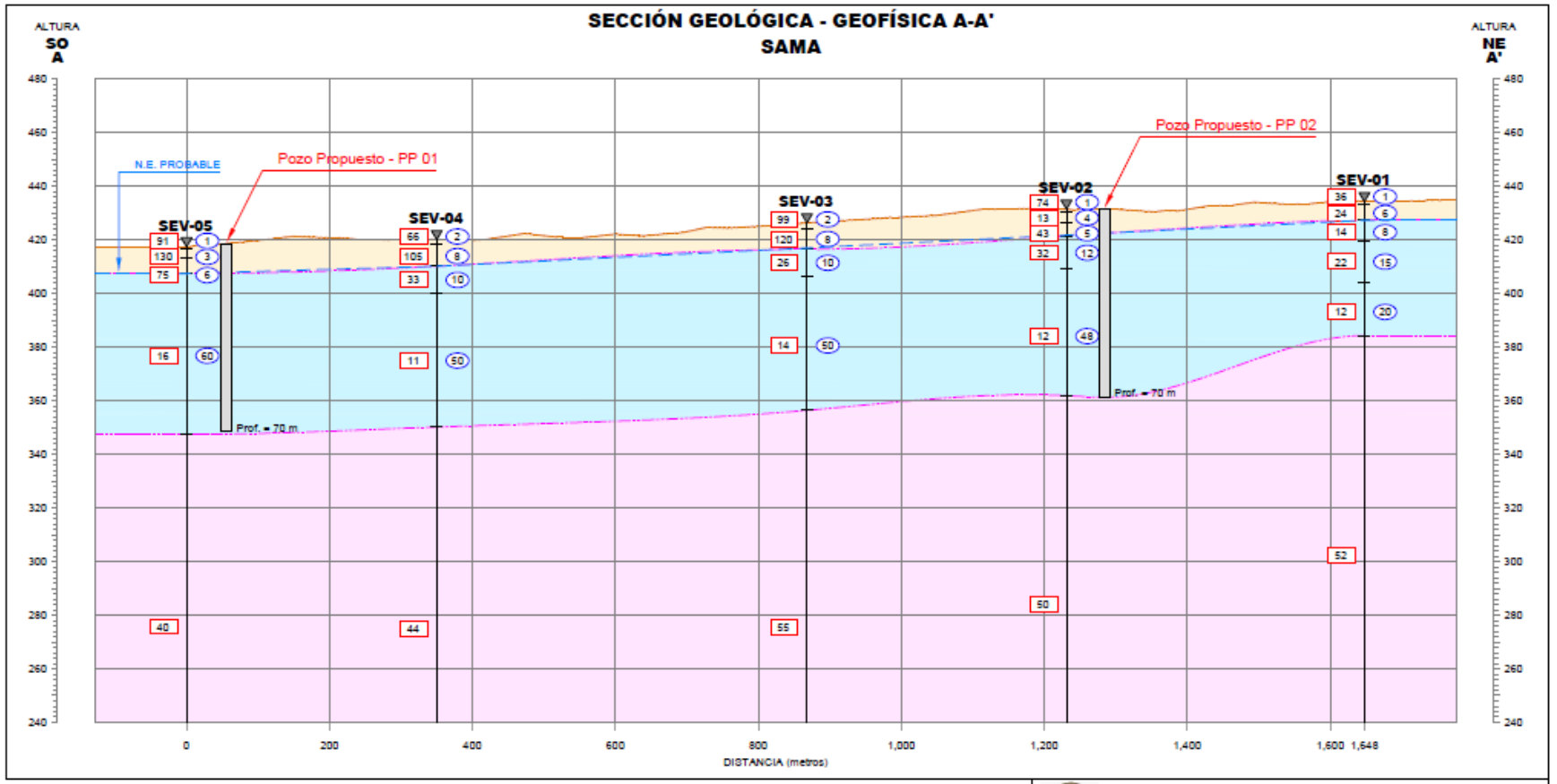
Presenta resistividades bajas desde 11 a 33Ohm-m; valores que caracterizan a materiales de regular y buena permeabilidad constituido por gravilla, arena y limos, horizonte saturado con agua salobre (proveniente de la filtración de un pequeño manante que aflora agua y se filtra). Este estrato tiene un espesor que varía de 43 a 60m.

Horizonte IV – Saturado, acuífero semi-impermeable

Horizonte semi-impermeable forma parte del acuífero, presenta resistividades medias entre 40 a 55Ohm-m y estaría compuesto por flujos de barro cementados y/o arcillas con limos de muy baja permeabilidad, de espesor indefinido; esta intercalado con materiales finos.

La Sección A-A' muestra las mejores condiciones hidrogeológicas para la perforación de pozos en el Horizonte III, al encontrarse saturado con buena permeabilidad, se propone la perforación de 02 pozos:

- ***Propuesta de pozo a perforar 01***, en el SEV-05 con una resistividad de 16Ohm-m con un espesor de 60m, profundidad del pozo a perforar 70m.
- ***Propuesta de pozo a perforar 02***, en el SEV-02 que presenta una resistividad de 12 a 32Ohm-m con un espesor de 60m y una profundidad de perforación de 70m.



LEYENDA

- Grava, gravilla, arena y limo en estado seco - Regular y buena permeabilidad.
- ACUÍFERO: Gravilla, arena y limo saturados - Regular y buena permeabilidad.
- Flujo de barro y/o arcillas con limos - Semipermeable.

SIMBOLOGÍA

- SEV-01 — Sondaje Eléctrico Vertical
- 60 — Resistividad en ohmios - metro
- (2) — Espesor en metros
- Superficie del terreno
- Contacto geoeléctrico
- N.E. Probable nivel freático

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

SECCIÓN GEOELÉCTRICA A-A'

ELABORADO :	ESCALA H.:	ESCALA V.:	LÁMINA:
Bach. Larissa Yampasi Surco	1/7,500	1/2,000	01
DISTRITO : SAMA	PROVINCIA : TACNA	REGIÓN : TACNA	

5.3.1.2 Sección Geológica-Geofísica B - B’

Este horizonte tiene una orientación longitudinal a la zona de estudio (suroeste – noreste), constituida por los SEVs - 05, 10, 09, 08, 07 y 06, (ver tabla N°18) con 1520m de longitud, logrando diferenciar cuatro horizontes geoeléctricos, que se detallan a continuación:

Tabla N°15. Valores Sección B – B’.

H	SEV 05		SEV 10		SEV 09		SEV 08		SEV 07		SEV 06	
	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)	E (m)
I			42	5	100	8	21/13	14/6	42	7	54/64	7/11
II	91/130/75	1/3/6	9	20	55	22	31	30	25	33	28	17
III	16	60	55	66	81	95	50	90	56	59	17	35
IV	40		20		15		10		8		66	

Fuente: Elaboración propia.

Horizonte I - No saturado superficial

Presenta resistividades de 13 a 100Ohm-m; valores que se relacionan a materiales de regular y buena permeabilidad con granulometría variada de origen fluvio - aluvial (grava, arena y limo) en condiciones secas; tiene un espesor de 5 a 20m (ver lámina N°02). Este horizonte no se ha determinado en el SEV-05.

Horizonte II - No saturado subsuperficial

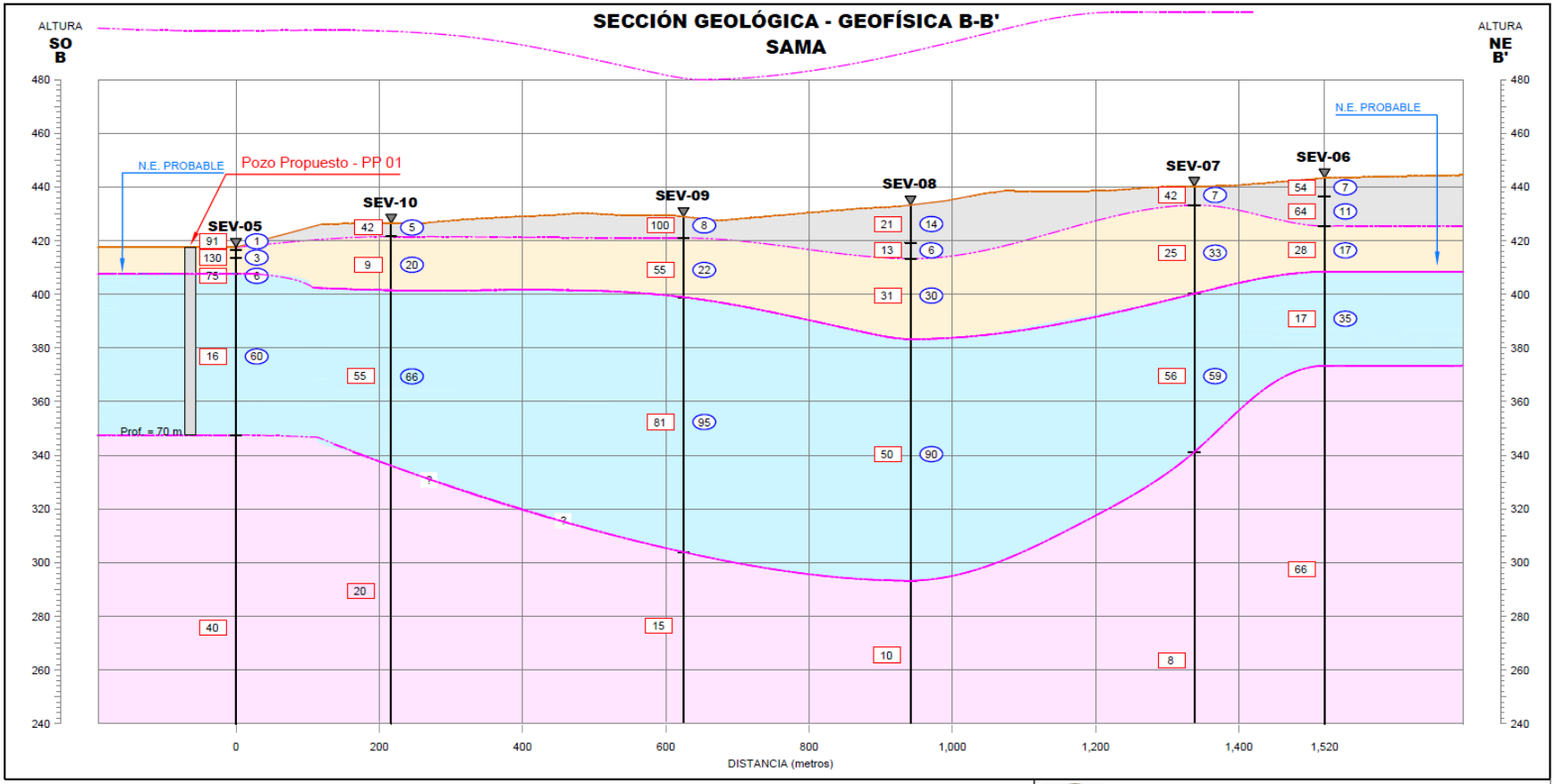
Con resistividades de 9 a 130Ohm-m; valores que caracterizan a materiales de regular y buena permeabilidad de grava, gravilla, arena y limo. Este estrato tiene un espesor que varía de 10 a 33m.

Horizonte III - Saturado acuífero permeable

Presenta resistividades bajas de 16 a 81Ohm-m; valores que caracterizan a materiales de regular a buena permeabilidad como gravilla, arena y limo saturado, con agua salobre. Este estrato tiene un espesor que varía de 35 a 95m.

Horizonte IV - Saturado, acuífero semi-impermeable

Horizonte semi-impermeable forma parte del acuífero, con resistividades de 8 a 66Ohm-m y estaría compuesto por flujos de barro cementados y/o arcillas con limos, de espesor indefinido.



LEYENDA

- Grava, arena, limo en estado seco - Regular permeabilidad.
- Grava, gravilla, arena y limo en estado seco - Regular permeabilidad.
- ACUIFERO: Gravilla, arena y limo saturados - Regular y buena permeabilidad.
- Flujo de barro y/o arcillas con limos - Semipermeable.

SIMBOLOGÍA

- SEV-01 — Sondaje Eléctrico Vertical
- 40 — Resistividad en ohmios - metro
- (2) — Espesor en metros
- Superficie del terreno
- Contacto geoeléctrico
- N.E. Probable nivel freático

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:
APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

SECCIÓN GEOELÉCTRICA B-B'

ELABORADO :	ESCALA H.:	ESCALA V.:	LÁMINA:
Bach. Larissa Yampasi Suroo	1/7,500	1/2,000	02
DISTRITO : SAMA	PROVINCIA : TACNA	REGIÓN : TACNA	

5.3.1.3 Sección Geológica-Geofísica C - C’

La sección presenta una orientación noroeste - sureste, transversal a la zona de estudio, compuesta por los SEVs - 21, 20, 06 y 01 (ver tabla N°19), con 1000m de longitud, diferenciándose cuatro horizontes geoeléctricos; ver lámina N°03, que a continuación se describe:

Tabla N°16. Valores Sección C – C’.

H	SEV 21		SEV 20		SEV 06		SEV 01	
	ρ (Ω m)	E(m)	ρ (Ω m)	E(m)	ρ (Ω m)	ρ (Ω)	ρ (Ω m)	E(m)
I	425/86	6/9	36/60	6/9	54/64	7/11	36	1
II	50	25	20	20	28	17	24	6
III	40	30	13	35	17	36	14/22/12	8/15/20
IV	100		134		66		52	

Fuente: Elaboración propia.

Horizonte I - No saturado superficial

Presenta resistividades entre 36 a 425Ohm-m; valores que corresponden a materiales con granulometría variada de origen fluvio - aluvial (grava, arena y limo) en estado seco, del cuaternario reciente. Este estrato tiene un espesor que varía de 15 a 18m.

Horizonte II - No saturado subsuperficial

Presenta resistividades de 20 a 50Ohm-m; valores que caracterizan a materiales de regular y buena permeabilidad de grava, gravilla, arena y limo en estado seco. Este estrato tiene un espesor que varía de 6 a 25m.

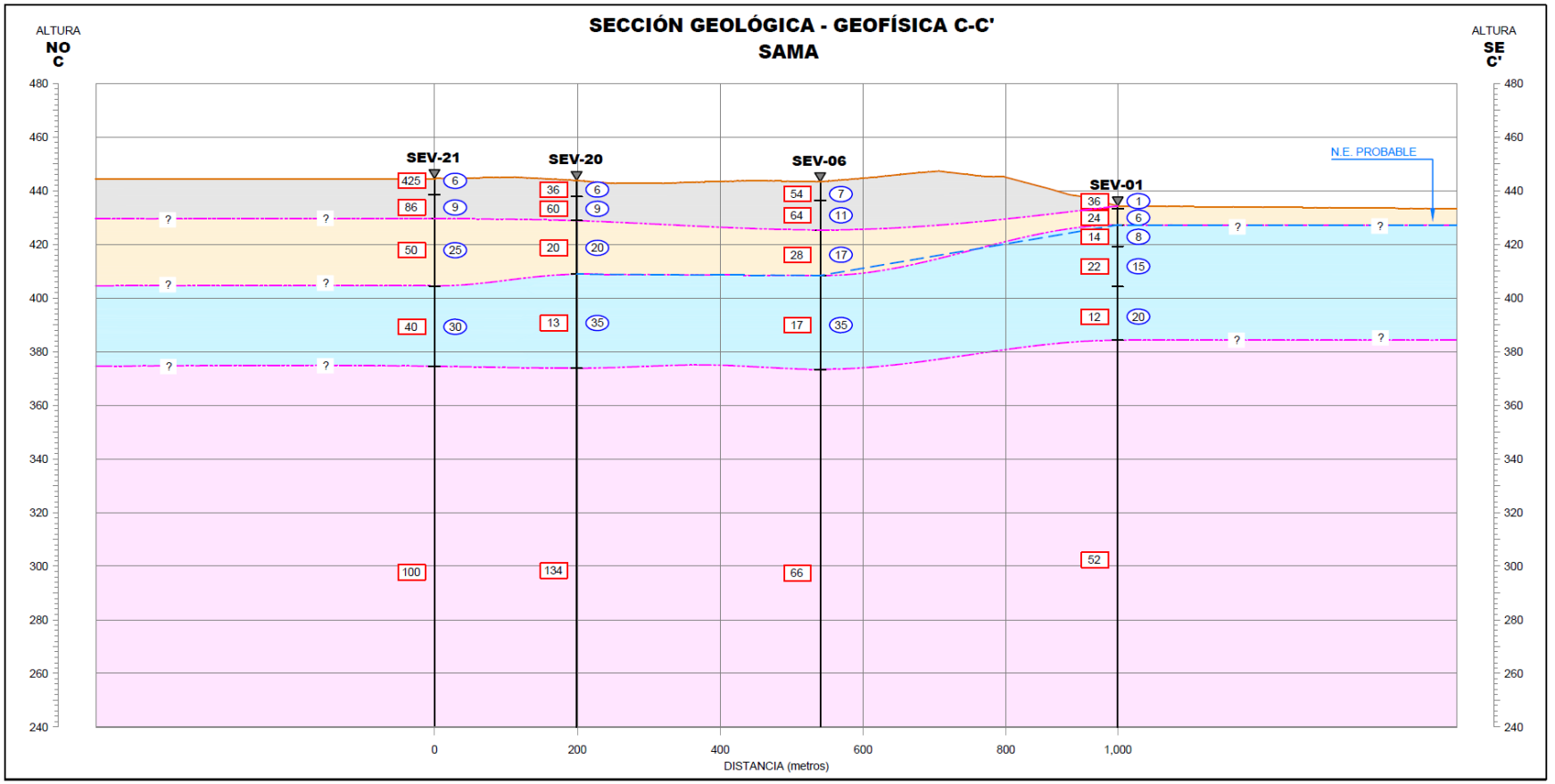
Horizonte III - Saturado acuífero permeable

Con resistividades de 12 a 22Ohm-m; valores que caracterizan a materiales de regular a buena permeabilidad constituida por gravilla, arena y limo en estado saturado, con agua salobre. Este estrato tiene un espesor que varía de 35 a 43m.

Horizonte IV - Saturado, acuífero semi-impermeable

Horizonte semi- impermeable del acuífero, presenta resistividades medias desde 52Ohm-m a altas 134Ohm-m y estaría compuesto por flujos de barro cementados y/o arcillas con limos, de espesor indefinido.

En esta Sección, el acuífero no presenta las mejores condiciones hidrogeológicas debido a que los espesores son de 35 a 43m, lo cual no garantiza la explotación favorable, a diferencia de las otras secciones geoeléctricas.



LEYENDA

- Grava, arena, limo en estado seco - Regular permeabilidad.
- Grava, gravilla, arena y limo en estado seco - Regular permeabilidad.
- ACUIFERO: Gravilla, arena y limo saturados - Regular y buena permeabilidad.
- Flujo de barro y/o arcillas con limos - Semipermeable.

SIMBOLOGÍA

SEV-01 ▽	Sondaje Eléctrico Vertical	---·---	Superficie del terreno
40	Resistividad en ohmios - metro	~~~	Contacto geoeléctrico
(2)	Espesor en metros	- - -	N.E. Probable nivel freático

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:
APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

SECCIÓN GEOELÉCTRICA C-C'

ELABORADO : Bach. Larissa Yampasi Surco	**ESCALA H.:** 1/7,500	**ESCALA V.:** 1/2,000	**LÁMINA:** 03
DISTRITO : SAMA	**PROVINCIA :** TACNA	**REGIÓN :** TACNA	

5.3.1.4 Sección Geológica-Geofísica D - D'.

Orientada en sentido Noroeste - Sureste, transversal a la zona de estudio, compuesta por los SEVs - 15, 14, 13, 12, 11 y 05, ver tabla N°20, con una longitud de 1589m de longitud lámina N°04; diferenciándose cuatro horizontes geoeléctricos detallados a continuación:

Tabla N°17. Valores Sección D – D'.

H	SEV 15		SEV 14		SEV 13		SEV 12		SEV 11		SEV 05	
	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)	E (m)
I	26/20/16	1/2/15	20/16/32	0.5/1.5/13	14/38	2/8	17/10/27	1/5/14	510/25	0.5/3.5		
II	30	20	42	25	52	30	53	30	91	26	91/130/75	1/3/6
III	13	62	23	30	28	30	25	50	36	40	16	60
IV	25		7		19		7		17		40	

Fuente: Elaboración propia.

Horizonte I - No saturado superficial

Presenta resistividades de 14 a 510Ohm-m; valores que corresponden a materiales de regular y buena permeabilidad con granulometría variada de origen fluvio - aluvial (grava, arena y limo), del cuaternario reciente; en estado húmedo, debido a que esta sección fue tomada sobre terrenos de cultivo. Este estrato tiene un espesor que varía de 1 a 20m.

Horizonte II - No saturado subsuperficial

Con resistividades medias de 30 a 130Ohm-m; valores que caracterizan a materiales de regular y buena permeabilidad de grava, gravilla, arena y limo. Este estrato tiene un espesor que varía de 10 a 30m.

Horizonte III - Saturado acuífero permeable

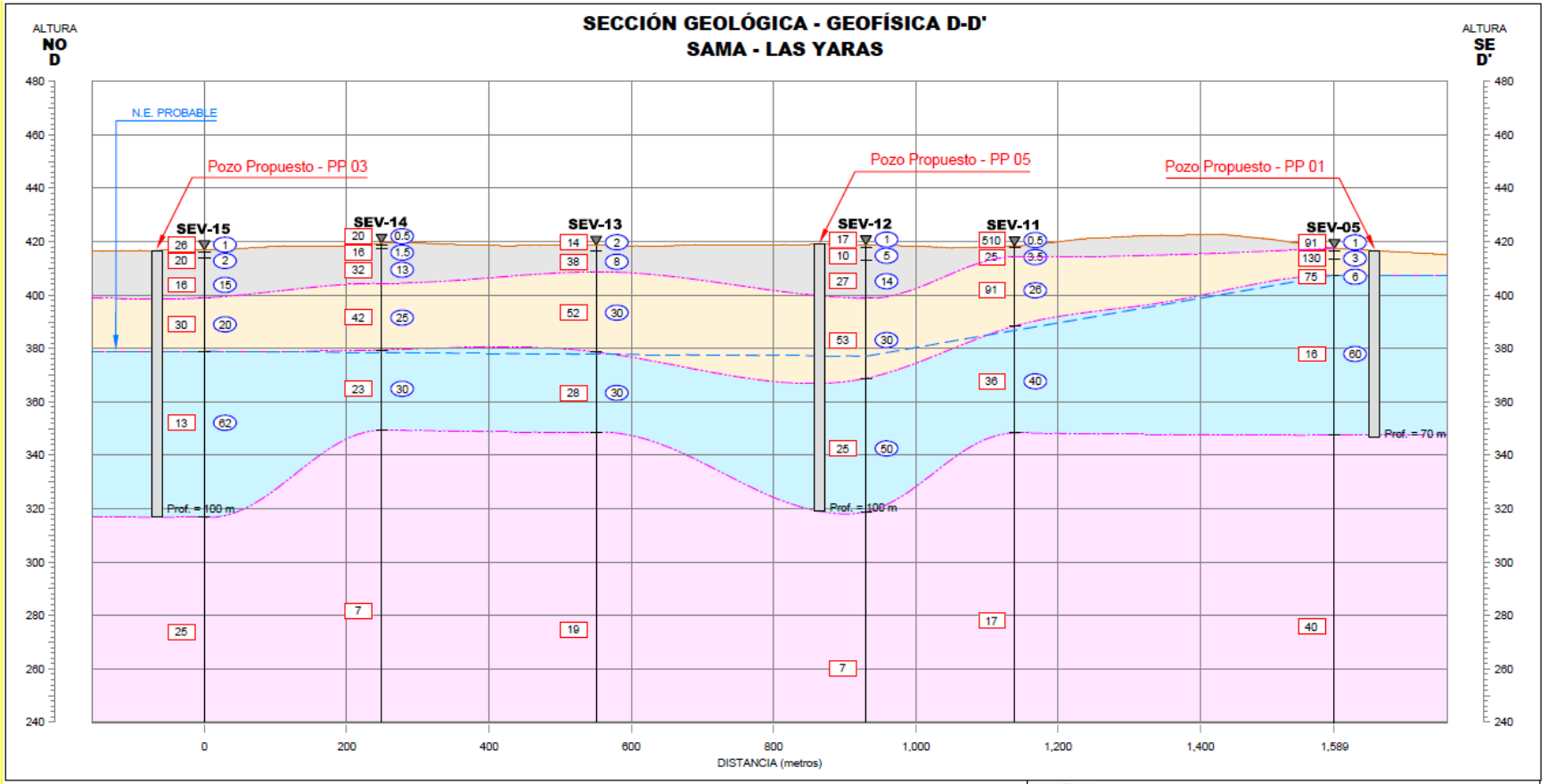
Presenta resistividades bajas de 13 a 36Ohm-m; valores que caracterizan a materiales de regular y buena permeabilidad como gravilla, arena y limo en estado saturado, con agua salobre. Este estrato tiene un espesor que varía de 30 a 62m.

Horizonte IV - Saturado, acuífero semi-impermeable

Constituye el basamento de comportamiento semipermeable del acuífero, que presenta resistividades de 7 a 40Ohm-m y estaría compuesto por flujos de barro cementados y/o arcillas con limos, de espesor indefinido.

En esta sección el acuífero muestra óptimas condiciones hidrogeológicas en el Horizonte III, por lo cual se sugiere:

- ***Propuesta de pozo a perforar 03***, en el SEV-15 con una resistividad de 13Ohm-m con un espesor de 62m, profundidad de pozo 100m.
- ***Propuesta de pozo a perforar 05***, en el SEV-12 que presenta una resistividad de 25Ohm-m con un espesor de 50m, con una profundidad de perforación de 100m.



LEYENDA

- Grava, arena, limo en estado seco y húmedo - Regular y buena permeabilidad.
- Grava, gravilla, arena y limo en estado seco - Regular y buena permeabilidad.
- ACUIFERO: Gravilla, arena y limo saturados - Regular y buena permeabilidad.
- Flujo de barro y/o arcillas con limos - Semipermeable e impermeable.

SIMBOLOGÍA

- SEV-01 ▽ Sondaje Eléctrico Vertical
- 40 Resistividad en ohmios - metro
- (2) Espesor en metros
- Superficie del terreno
- Contacto geoeléctrico
- N.E. Probable nivel freático

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:
SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL APLICADO PARA LA PROSPECCIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA, MIRAFLORES Y PAMPA LA JULIA, DISTRITO DE SAMA LAS YARAS, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

SECCIÓN GEOELÉCTRICA D-D'

ELABORADO :	ESCALA H.:	ESCALA V.:	LÁMINA:
Bach. Larissa Yampasi Surco	1/7,500	1/2,000	04
DISTRITO : SAMA LAS YARAS	PROVINCIA : TACNA	REGIÓN : TACNA	

5.3.1.5 Sección Geológica-Geofísica E - E'.

Orientada en sentido Suroeste - Noreste, longitudinal a la zona de estudio, compuesta por los SEVs - 19, 18, 17, 16 y 15, ver tabla N°21, con 1036m de longitud de acuerdo a la lámina N°05, diferenciándose cuatro horizontes geoeléctricos detallados a continuación:

Tabla N°18. Valores Sección E – E'.

H	SEV 19		SEV 18		SEV 17		SEV 16		SEV 15	
	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)	E (m)
I	182/274	0.5/2	229/250	1/3	299/94/124	0.5/3/3	8/54	0.5/4.5	26/20/16	1/2/15
II	58/30	2.5/15	36	16	60	24	74	30	30	20
III	23	50	22	50	33	40	37	47	13	62
IV	5		14		11		19		25	

Fuente: Elaboración propia.

Horizonte I - No saturado superficial

Presenta resistividades de 8 a 299Ohm-m; valores que corresponden a materiales de regular y buena permeabilidad con granulometría variada de origen fluvio - aluvial (grava, arena y limo) del cuaternario reciente; en estado húmedo debido a que esta sección se encuentra sobre terrenos de cultivo. Este estrato tiene un espesor que varía de 2.5 a 18m.

Horizonte II - No saturado subsuperficial

Presenta resistividades de 30 a 74Ohm-m; valores que caracterizan a materiales de regular y buena permeabilidad de grava, gravilla, arena y limo en estado seco. Este estrato tiene un espesor que varía de 16 a 30m.

Horizonte III - Saturado acuífero permeable

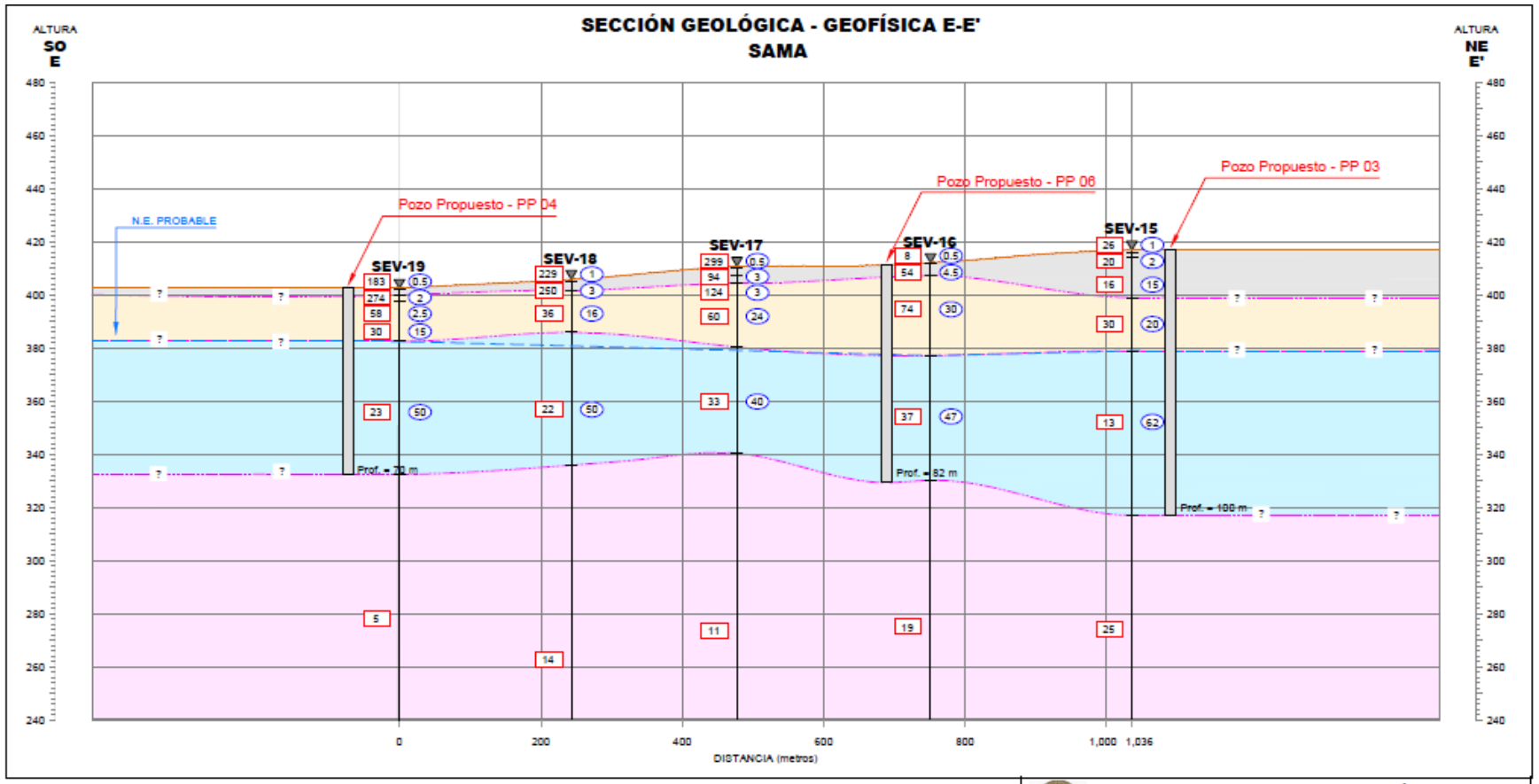
Presenta resistividades de 13 a 37Ohm-m; valores que caracterizan a materiales de regular y buena permeabilidad constituido por gravilla, arena y limo en estado saturado, con agua salobre. Este estrato tiene un espesor que varía de 40 a 62m.

Horizonte IV - Saturado, acuífero semi-impermeable

Horizonte de comportamiento semi-impermeable del acuífero, que presenta resistividades desde 5 a 25Ohm-m y estaría compuesto por flujos de barro cementados y/o arcillas con limos, de espesor indefinido.

En esta sección el acuífero muestra condiciones hidrogeológicas adecuadas para la perforación de pozos:

- ***Propuesta de pozo a perforar 04***, en el SEV-19 con una resistividad de 23Ohm-m con un espesor de 50m, profundidad de 70m.
- ***Propuesta de pozo a perforar 06***, en el SEV-16 que presenta una resistividad de a 37Ohm-m con un espesor de 47m, con una profundidad de perforación de 82m.



LEYENDA

- Grava, arena, limo en estado seco y/o húmedo - Regular y buena permeabilidad.
- Grava, gravilla, arena y limo en estado seco - Regular y buena permeabilidad.
- ACUÍFERO: Gravilla, arena y limo saturados - Regular y buena permeabilidad.
- Flujo de barro y/o arcillas con limos - Semipermeable.

SIMBOLOGÍA

- SEV-01 — Sondaje Eléctrico Vertical
- 40 — Resistividad en ohmios - metro
- ② — Espesor en metros
- Superficie del terreno
- Contacto geoeléctrico
- N.E. Probable nivel freático

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

SECCIÓN GEOELÉCTRICA E-E'

ELABORADO : Bach. Larissa Yampasi Surco	**ESCALA H.:** 1/7,500	**ESCALA V.:** 1/2,000	**LÁMINA:** 05
DISTRITO : SAMA	**PROVINCIA :** TACNA	**REGIÓN :** TACNA	

5.3.2 Interpretación Cuantitativa

Se ha utilizado el software **IPI2WIN** para ajustar los datos obtenidos, se halló las diferentes resistividades en Ω-m y espesores para los SEV en metros, ver tabla N°22.

Tabla N°19: Resultados de los Sondajes Eléctricos Verticales.

	HORIZONTE I		HORIZONTE II		HORIZONTE III		HORIZONTE IV
	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)	E (m)	ρ (Ω m)
SEV 01			36/24	1/6	14/25/12	8/15/20	52
SEV 02			74/13/43	1/4/5	32/12	12/48	50
SEV 03			99/120	2/8	26/14	10/50	55
SEV 04			66/105	2/8	33/11	10/50	44
SEV 05			91/130/75	1/3/6	16	60	40
SEV 06	54/64	7/11	28	17	17	35	66
SEV 07	42	7	25	33	56	59	8
SEV 08	21/13	14/6	31	30	50	90	10
SEV 09	100	8	55	22	81	95	15
SEV 10	42	5	9	20	55	66	20
SEV 11	510/25	0.5/3.5	91	26	36	40	17
SEV 12	17/10/27	1/5/14	53	30	25	50	7
SEV 13	14/38	2/8	52	30	28	30	19
SEV 14	20/16/32	0.5/1.5/13	42	25	23	30	7
SEV 15	26/20/16	1/2/15	30	20	13	62	25
SEV 16	8/54	0.5/4.5	74	30	37	47	19
SEV 17	299/94/124	0.5/3/3	60	24	33	40	11
SEV 18	229/250	1/3	36	16	22	50	14
SEV 19	182/274	0.5/2	58/30	2.5/15	23	50	5
SEV 20	36/60	6/9	20	20	13	35	134
SEV 21	425/86	6/9	50	25	40	30	100

Fuente: Elaboración propia.

SEV **:** Sondaje Eléctrico Vertical.

ρ **:** Resistividad de horizontes geoeléctricos en Ohm-m.

E **:** Espesor en m.

De los resultados obtenidos se observa:

- **Horizonte I:** Ausencia del mismo en los SEV 01. 02, 03, 04 y 05 al parecer han sido erosionados, está constituido por arena, grava y limo en estado seco y/o húmedo, lo cual evidencia en campo. Las resistividades en este horizonte tienen un rango de 8 a 425Ohm-m y espesores que van de 4 a 20m.
- **Horizonte II:** Se aprecia en todos los SEVs constituido por gravas, gravillas, arenas y limos en estado seco, teniendo resistividades que van de 9 a 130Ohm-m; con espesores 7 a 30m y una profundidad máxima de 40m.
- **Horizonte III:** Está constituido por el acuífero tiene una profundidad máxima de 140m; con resistividades de 11 a 56 Ohm-m y con un espesores de 30 a 95m.
- **Horizonte IV:** Constituido por flujos de barro y/o arcillas con limos; no tiene una profundidad determinada ya que es parte del basamento semi-impermeable del acuífero; sus resistividades tienen un rango de 5 a 134Ohm-m.

5.4 ELABORACIÓN DE MAPAS GEOFÍSICOS

Con los resultados obtenidos en la interpretación de los 21 Sondajes Eléctricos Verticales ejecutados en el ámbito de influencia de las zonas de Buena Vista y Miraflores, se han confeccionado tres mapas geofísicos, que resumen las principales características del acuífero en la zona de estudio.

5.4.1 Mapa de Isóbatas - Techo Basamento Semi-impermeable

Esta carta muestra las variaciones de la profundidad del Techo del basamento semi-impermeable (horizonte IV), en relación con la potencia del relleno sedimentario desde el nivel del suelo.

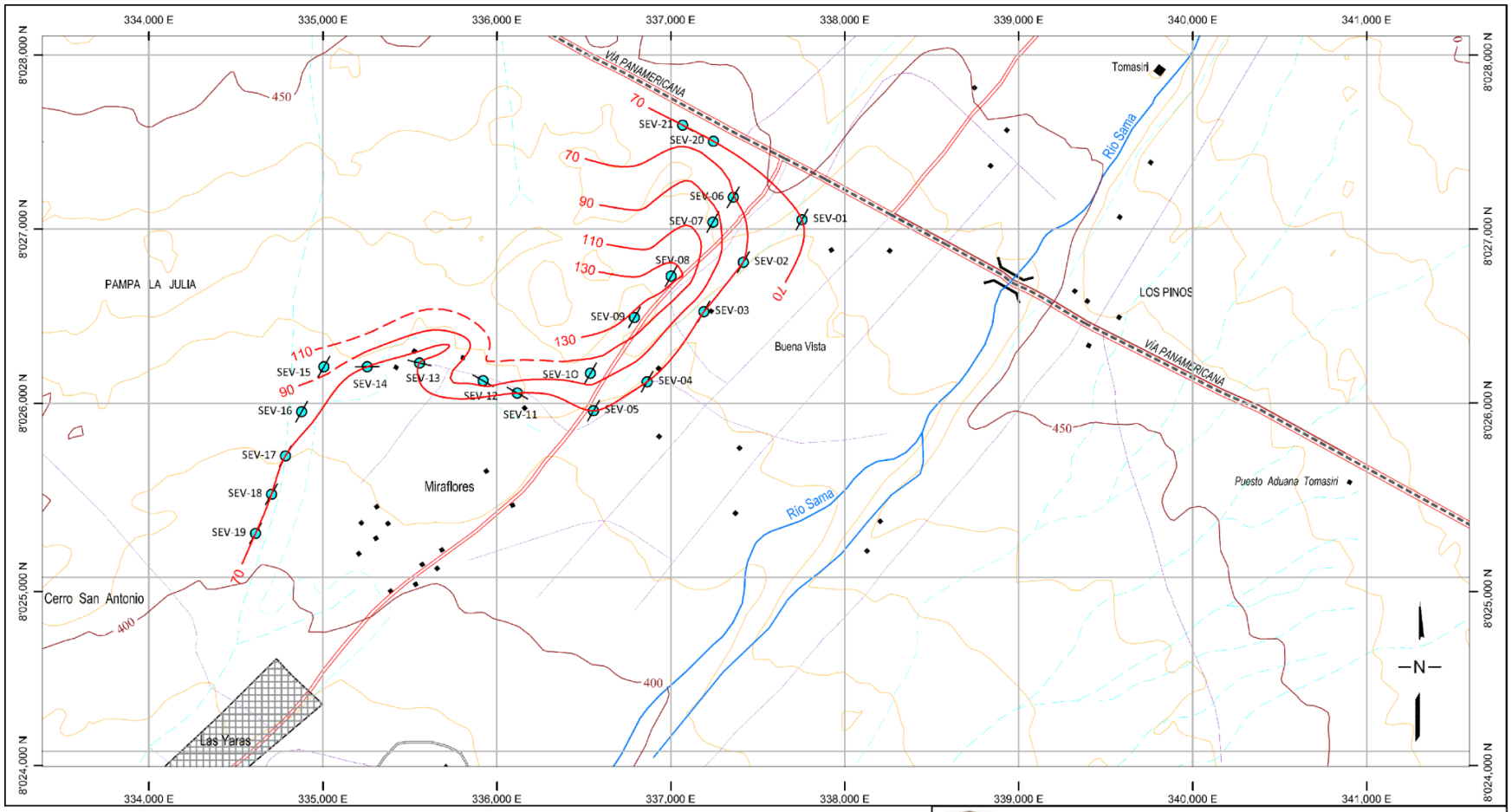
Las isocurvas del mapa N°04, muestran mayor profundidad del basamento hacia el SEV - 08 con 140m, disminuyendo hacia el noreste y suroeste; es decir hacia los

SEV 02, 03, 04, 05, 06, 11, 13, 18, 19, 20 y 21 con un promedio de 70m, ver tabla N°23.

Tabla N°20. SEV en función de la profundidad.

PROFUNDIDAD (m)	SEV
50	01
70	02, 03, 04, 05, 06, 11, 13, 14, 18, 19, 20 y 21
70.5	17
82	16
91	10
99	07
100	12 y 15
125	09
140	08

Fuente: Elaboración propia.



LEYENDA

- Sondaje Eléctrico Vertical
- Isóbatas (m)

SIMBOLOGÍA

- Vía asfaltada
- Vía carrozable
- Curva mayor
- Curva menor
- Quebrada
- Río

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

MAPA DE ISÓBATAS

ELABORADO :	ESCALA :	DATUM :	MAPA:
Bach. Larissa Yampasi Surco	1/30,000	WGS 84 - Zona 19S	04
DISTRITO : SAMA	**PROVINCIA :** TACNA	**REGIÓN :** TACNA	

5.4.2 Mapa de Isópacos - Espesor del Horizonte acuífero saturado

Se muestra las curvas de igual espesor del horizonte permeable saturado, que permite conocer la morfología o forma como se encuentra distribuido el acuífero permeable.

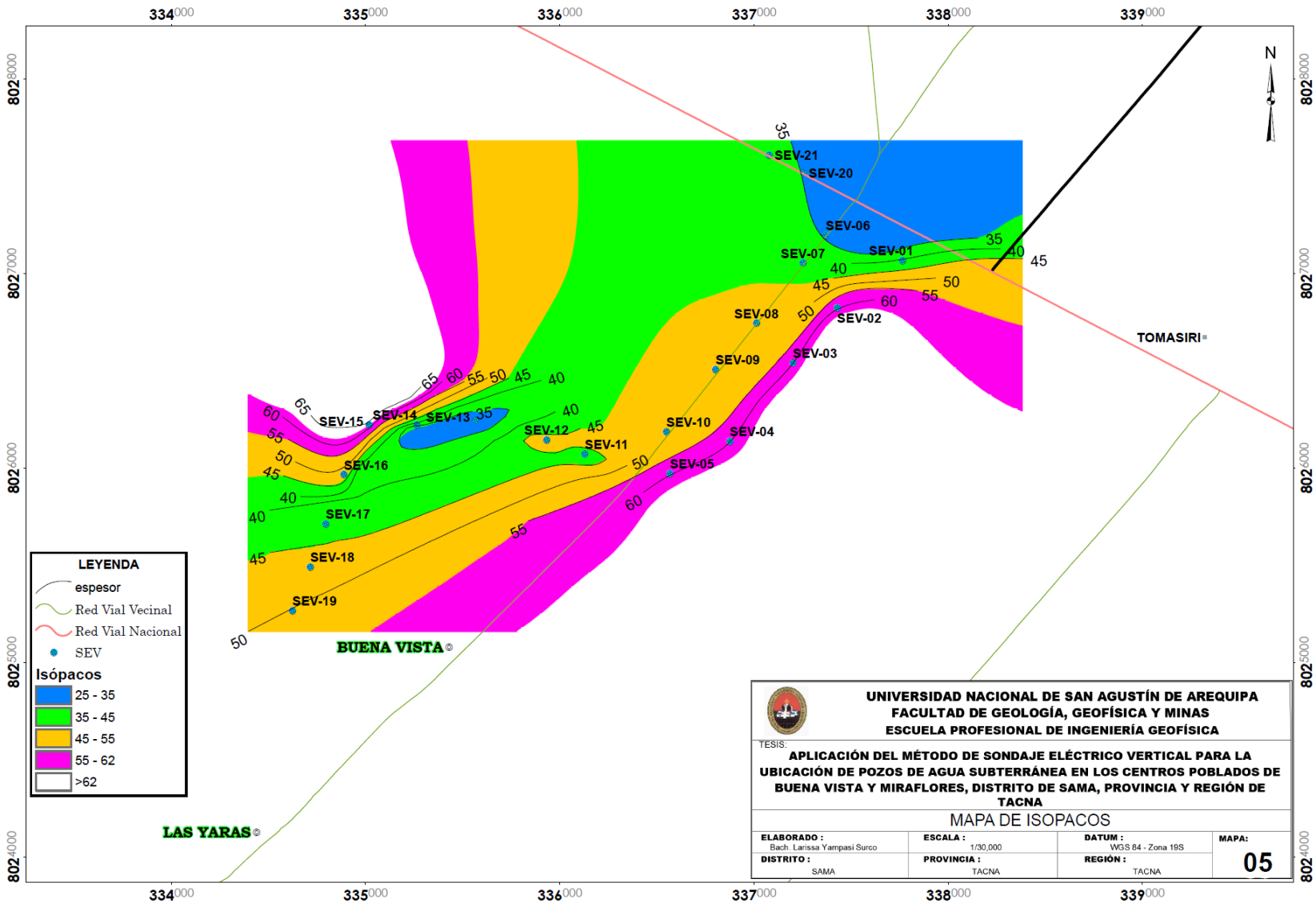
Se observa que en los SEV 06, 20 y 21 tienen un espesor de 25 a 35m (ver tabla N°24) en la esquina noreste de la zona de estudio, aumentando el espesor hacia la zona sur llegando aproximadamente a los 60m y hacia el este aumenta progresivamente hasta los 65m.

La zona central del acuífero tiene un espesor de 35 a 45m recorriendo la zona de estudio de suroeste a noreste.

Tabla N°21. SEV en función del espesor del acuífero.

ESPESOR ACUÍFERO (m)	SEV
30	13, 14 y 21
35	06 y 20
40	11 y 17
43	01
47	16
50	12, 18 y 19
59	07
60	02, 03, 04 y 05
62	15
66	10
90	08
95	09

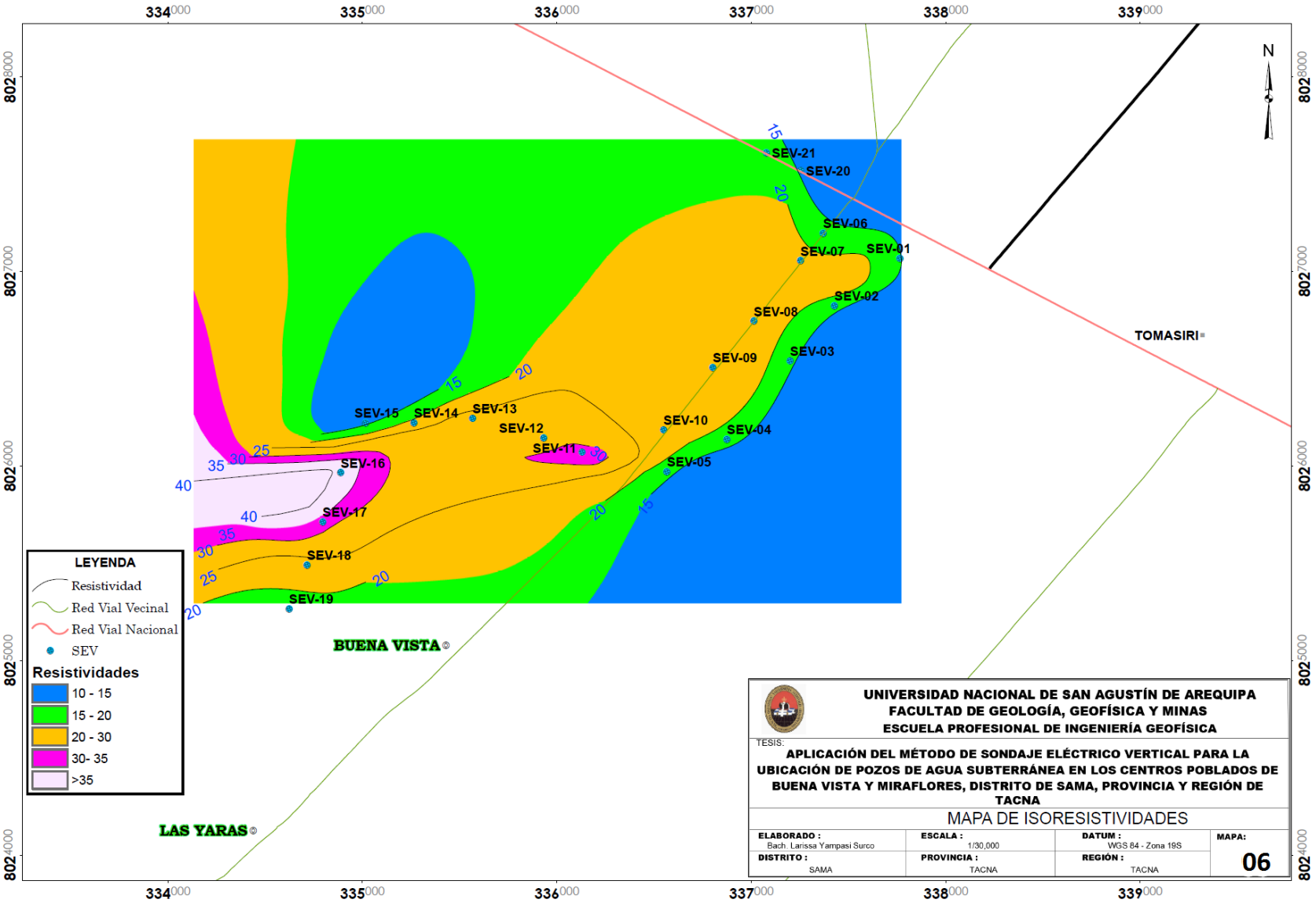
Fuente: Elaboración propia.


334000
335000
336000
337000
338000
339000
8028000
8027000
8026000
8025000
8024000
N
SEV-21
SEV-20
SEV-06
SEV-07
SEV-01
SEV-08
SEV-02
SEV-09
SEV-03
SEV-10
SEV-04
SEV-11
SEV-12
SEV-05
SEV-13
SEV-14
SEV-15
SEV-16
SEV-17
SEV-18
SEV-19
TOMASIRI
BUENA VISTA
LAS YARAS
LEYENDA
espesor
Red Vial Vecinal
Red Vial Nacional
SEV
Isópacos
25 - 35
35 - 45
45 - 55
55 - 62
>62
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA
TESIS:
APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA
MAPA DE ISOPACOS
ELABORADO : Bach. Larissa Yampasi Surco
ESCALA : 1/30,000
DATUM : WGS 84 - Zona 19S
MAPA: 05
DISTRITO : SAMA
PROVINCIA : TACNA
REGIÓN : TACNA

5.4.3 Mapa de Isorresistividades - Resistividades Eléctricas del Horizonte Permeable Saturado

La determinación de las resistividades verdaderas es de gran importancia porque relaciona las resistividades de la zona de estudio.

El mapa N°06, muestra que los valores más importantes, se encuentran en las isocurvas de 10 a 45Ohm-m en promedio, relacionados con la ubicación del SEV 15 (13Ohm-m), SEV 02 y 05 (16Ohm-m), SEV 19 (23Ohm-m), SEV 12 (25Ohm-m) y SEV 16 (37Ohm-m) que corresponden a materiales como gravilla, arena y limo saturado de buena permeabilidad constituyendo el acuífero potencialmente explotable a partir del nivel freático.


334000
335000
336000
337000
338000
339000
8024000
8025000
8026000
8027000
8028000
N
SEV-21
SEV-20
SEV-06
SEV-07
SEV-01
SEV-02
SEV-08
SEV-03
SEV-09
SEV-04
SEV-10
SEV-05
SEV-11
SEV-12
SEV-13
SEV-14
SEV-15
SEV-16
SEV-17
SEV-18
SEV-19
15
20
25
30
35
40
TOMASIRI
BUENA VISTA
LAS YARAS
LEYENDA
Resistividad
Red Vial Vecinal
Red Vial Nacional
SEV
Resistividades
10 - 15
15 - 20
20 - 30
30- 35
>35
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA
TESIS:
APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA
MAPA DE ISORESISTIVIDADES
ELABORADO : Bach. Larissa Yampasi Surco
ESCALA : 1/30,000
DATUM : WGS 84 - Zona 19S
MAPA: 06
DISTRITO : SAMA
PROVINCIA : TACNA
REGIÓN : TACNA

5.5 CURVAS TEÓRICASY SOFTWARE IPIWIN APLICADO

El cálculo de las curvas teóricas usa el método descrito por O. KOEFOED, 1979, y por U.C.DAS y S.K. VERMA, 1980. Los sondeos eléctricos verticales están basados en el modelamiento de las propiedades eléctricas de una capa de terreno horizontal, por la medición de su resistividad aparente desde la superficie. De esta manera usted puede deducir la verdadera resistividad de la tierra, a partir de esto la composición de las diferentes capas. Ver figura N°35.

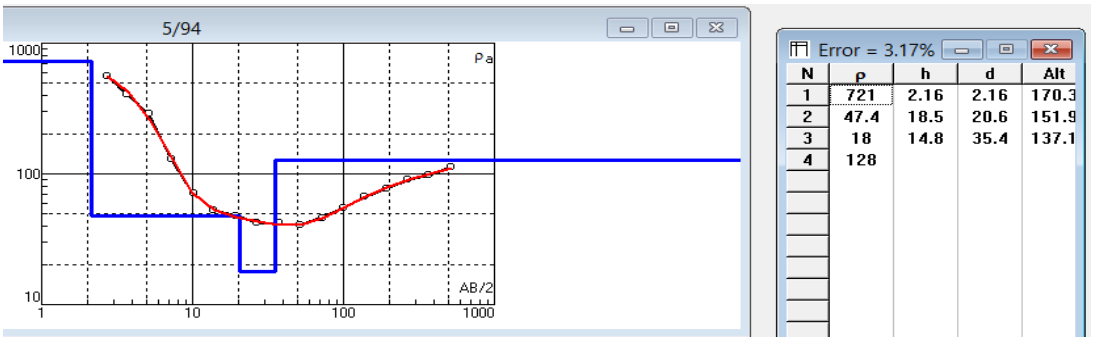


Figura N°35. Presentación de resultados.
Fuente: Elaboración propia.

5.5.1 Elaboración de mapas de geo-resistividad.

Como software adicional del IPWIN, también se realizó interpolación geoestadística con los resultados de los SEV (Oasis Montaj versión 8.5), para obtener una visión tridimensional amplia de los lugares más probables de la existencia de acuífero, siendo de objetivo principal de esta tesis.

5.5.2 Módulo de análisis de datos.

Permite realizar un estudio del grado de correlación entre los sondeos dependiendo la variabilidad o varianza en las lecturas de los mismos como función de la distancia de separación entre cada par de sondeos. El resultado de este análisis es un modelo de variograma que indica dirección y rango óptimo de correlación entre sondeos. El modelo de variograma que se obtiene es utilizado por el programa como una función de peso en el proceso de distribución de propiedades. Ver figura N°36.

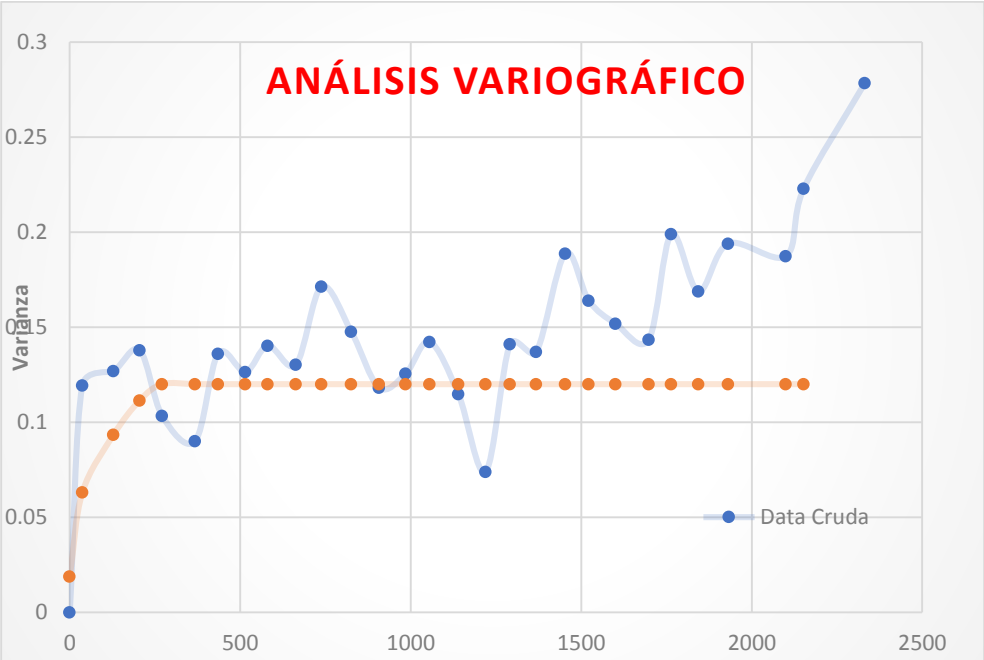


Figura N°36. Módulo de distribución de propiedades.
Fuente: Elaboración propia.

Los sondeos eléctricos son cargados en el programa como un registro vertical cuyos atributos son los siguientes: (Ver figura N°37):

- Nombre del sondeo
- Coordenadas (x,y)
- Datum referido al nivel del mar.
- Azimut y buzamiento.

DH_Collar	DH_Hole	DH_East X	DH_North Y	DH_RL Z	DH_Dip	DH_Azimuth	DH_Top	DH_Bottom
0.0	SEV01	337754.0	8027054.0	434.0	-90.0	0.0	0.0	80.0
1.0	SEV02	337417.0	8026810.0	433.0	-90.0	0.0	0.0	128.0
2.0	SEV03	337190.0	8026526.0	427.0	-90.0	0.0	0.0	130.0
3.0	SEV04	336864.0	8026123.0	420.0	-90.0	0.0	0.0	130.0
4.0	SEV05	336556.0	8025957.0	420.0	-90.0	0.0	0.0	140.0
5.0	SEV06	337359.0	8027183.0	444.0	-90.0	0.0	0.0	115.0
6.0	SEV07	337242.0	8027040.0	440.0	-90.0	0.0	0.0	168.0
7.0	SEV08	337001.0	8026729.0	434.0	-90.0	0.0	0.0	180.0
8.0	SEV09	336791.0	8026492.0	429.0	-90.0	0.0	0.0	230.0
9.0	SEV10	336538.0	8026172.0	426.0	-90.0	0.0	0.0	167.0
10.0	SEV11	336118.0	8026058.0	420.0	-90.0	0.0	0.0	117.0
11.0	SEV12	335921.0	8026129.0	419.0	-90.0	0.0	0.0	160.0
12.0	SEV13	335556.0	8026231.0	419.0	-90.0	0.0	0.0	110.0
13.0	SEV14	335255.0	8026223.0	420.0	-90.0	0.0	0.0	110.0
14.0	SEV15	335006.0	8026209.0	418.0	-90.0	0.0	0.0	172.0
15.0	SEV16	334878.0	8025951.0	413.0	-90.0	0.0	0.0	139.0
16.0	SEV17	334785.0	8025697.0	411.0	-90.0	0.0	0.0	120.5
17.0	SEV18	334705.0	8025477.0	406.0	-90.0	0.0	0.0	130.0
18.0	SEV19	334613.0	8025252.0	404.0	-90.0	0.0	0.0	130.0
19.0	SEV20	337245.0	8027505.0	444.0	-90.0	0.0	0.0	115.0
20.0	SEV21	337068.0	8027597.0	445.0	-90.0	0.0	0.0	110.0

Figura N°37. Registro de lecturas de resistividad versus profundidad.
Fuente: Elaboración propia.

La geometría del modelo 3D de la zona de estudio va a estar definido por la topografía del terreno, el área de influencia de los sondeos y la máxima profundidad de investigación. La malla tridimensional que se ha utilizado para cada uno de los casos en este estudio corresponde a una estructura cuyas celdas varían entre 10 y 200m de longitud en sentido XY y un espesor que varía entre 5 y 20m en sentido Z. El tamaño de las celdas del modelo define la resolución del mismo y este parámetro a su vez depende del número de sondeos disponibles y de la extensión del área de estudio.

Una vez que los sondeos han sido cargados en el programa, el módulo de distribución de propiedades hace uso de las funciones de peso obtenidas en el módulo de análisis de datos para poblar toda la malla mediante la aplicación de algoritmos de distribución tales como Kriging o Simulación Gaussiana, ver figura N°38.

Basándonos en los datos de los sondeos eléctricos verticales existentes y en la utilización de variogramas y métodos gaussianos de simulación para propagación de propiedades, se realizó un mapa conceptual de distribución de geo-resistividades para la zona de estudio, ver figura N°39.

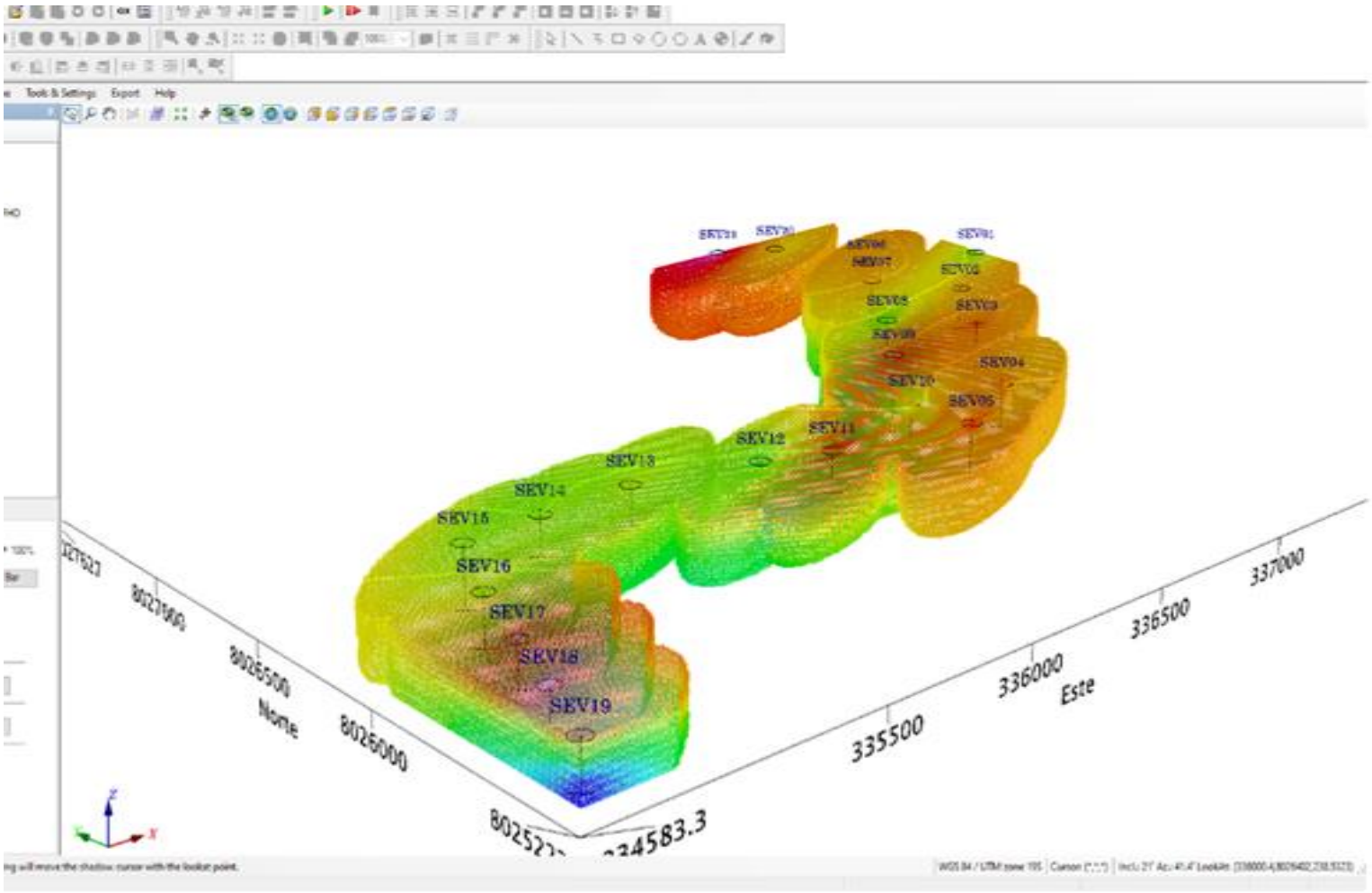


Figura N°38. Modelo conceptual de distribución de geo-resistividades en las zonas de poblados de Buena Vista y Miraflores en el distrito de Sama, provincia y región de Tacna.
Fuente: Elaboración propia.

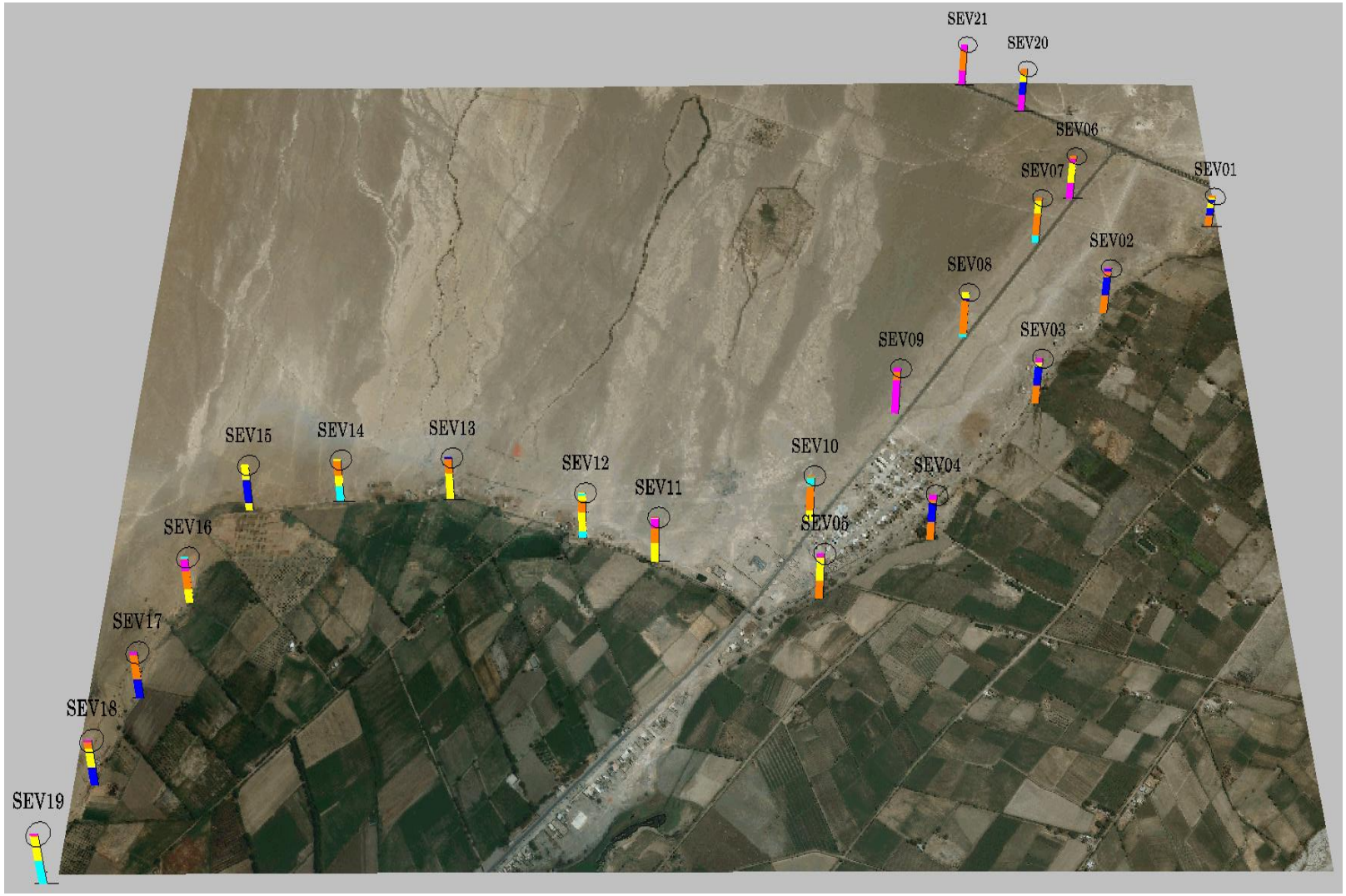


Figura N°39. Modelo conceptual del patrón de escorrentía.
Fuente: Elaboración propia.

Basados en los resultados mostrados por el modelo conceptual de distribución de geo-resistividades y en la topografía de la zona, se determinó un modelo conceptual del patrón de escorrentía, con lo que se establecieron 6 zonas de perforación para el potencial del acuífero.

5.5.3 Resultado del Análisis de los Datos de Resistividades para las Áreas de estudio.

Con los datos obtenidos de los SEV, se procedió a la elaboración de los modelos de resistividad. Estos modelos consisten en mostrar la variación de la resistividad en un área determinada, para diferentes profundidades, en este caso se muestran cortes horizontales del modelo de resistividad a 40m de profundidad, esto nos puede dar una clara idea del comportamiento de los cuerpos de agua existentes, ver figura N°40.

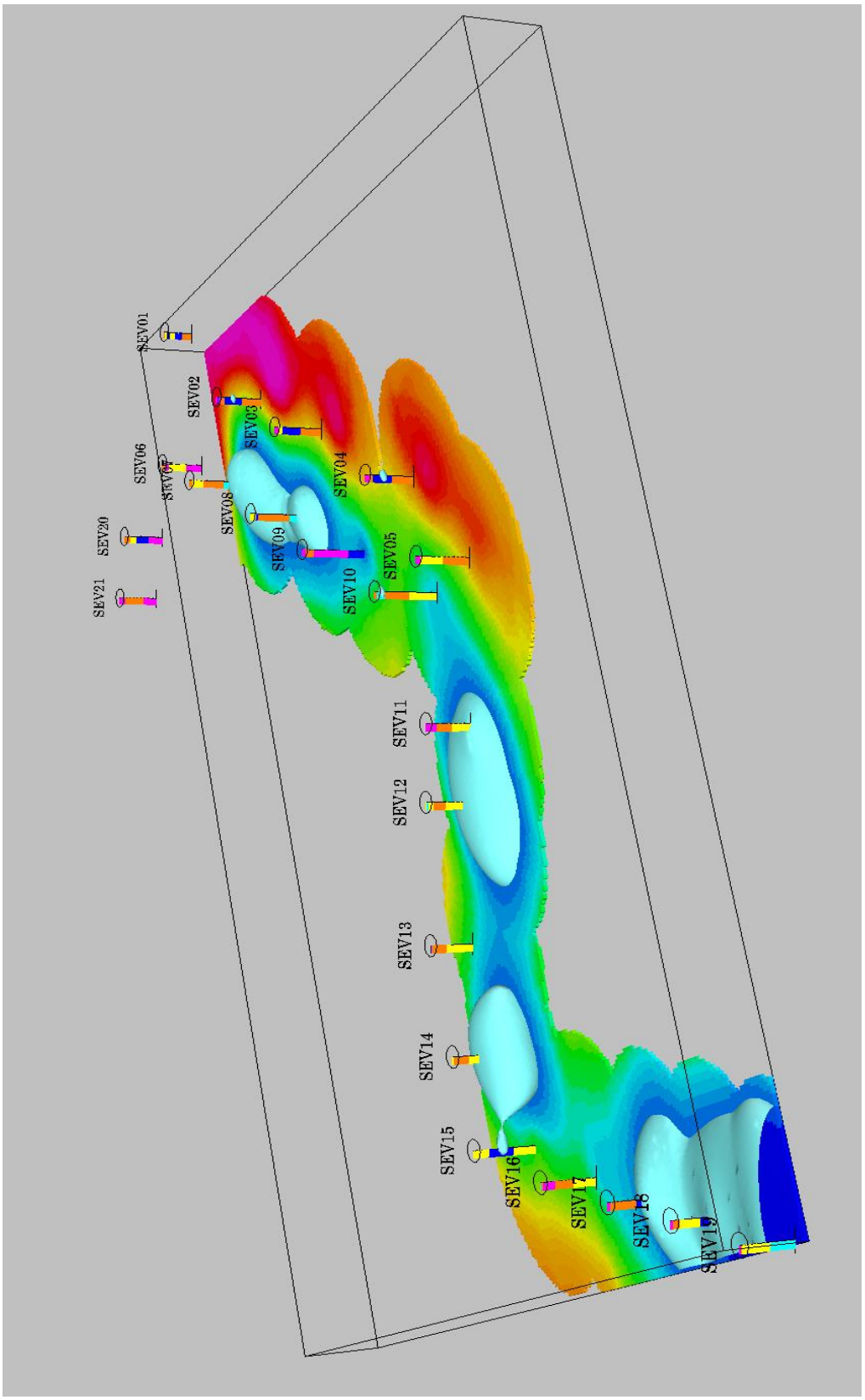


Figura N°40: Corte horizontal del modelo de resistividad, donde se indica la presencia de agua.
Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI

POZOS DE EXPLOTACIÓN

6.1 UBICACIÓN DE ZONAS FAVORABLES PARA POZOS DE EXPLOTACIÓN

Los criterios técnicos tomados en cuenta para la ubicación de un pozo de Exploración - Explotación de aguas subterráneas, en el distrito de Sama las Yaras, para abastecer de agua a la población del distrito de Sama las Yaras y mejorar la agricultura del distrito; tienen como fundamento principal que, en la zona evaluada, exista un medio físico favorable para la explotación de aguas subterráneas de calidad aceptable para consumo agrícola. Bajo esta premisa existen evidencias de la factibilidad de explotación de aguas subterráneas en la zona de estudio, tales como:

- Evidencia de recarga permanente de aguas subterráneas del río Sama y áreas de cultivo; que han sido comprobadas por los resultados obtenidos en los pozos en actual explotación en el distrito de Sama, ver mapa N°7.
- Las zonas favorables para ubicar un pozo de explotación de aguas subterránea, en el distrito de Sama, en orden de prioridad, está relacionada con la ubicación del SEV, valores bajos de resistividad y mayor espesor del acuífero los que se detallan en la tabla N°25.

Tabla N°22. Pozos Probables.

POZO	UBICACIÓN	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	ESPESOR (m)
PP-01	SEV 05	16	60
PP-02	SEV 02	32 - 12	60
PP-03	SEV 15	13	62
PP-04	SEV 19	23	50
PP-05	SEV 12	25	50
PP-06	SEV 16	37	47

Fuente: Elaboración propia.

6.1.1 Alternativas de Ubicación de Pozos de Explotación de Aguas Subterráneas

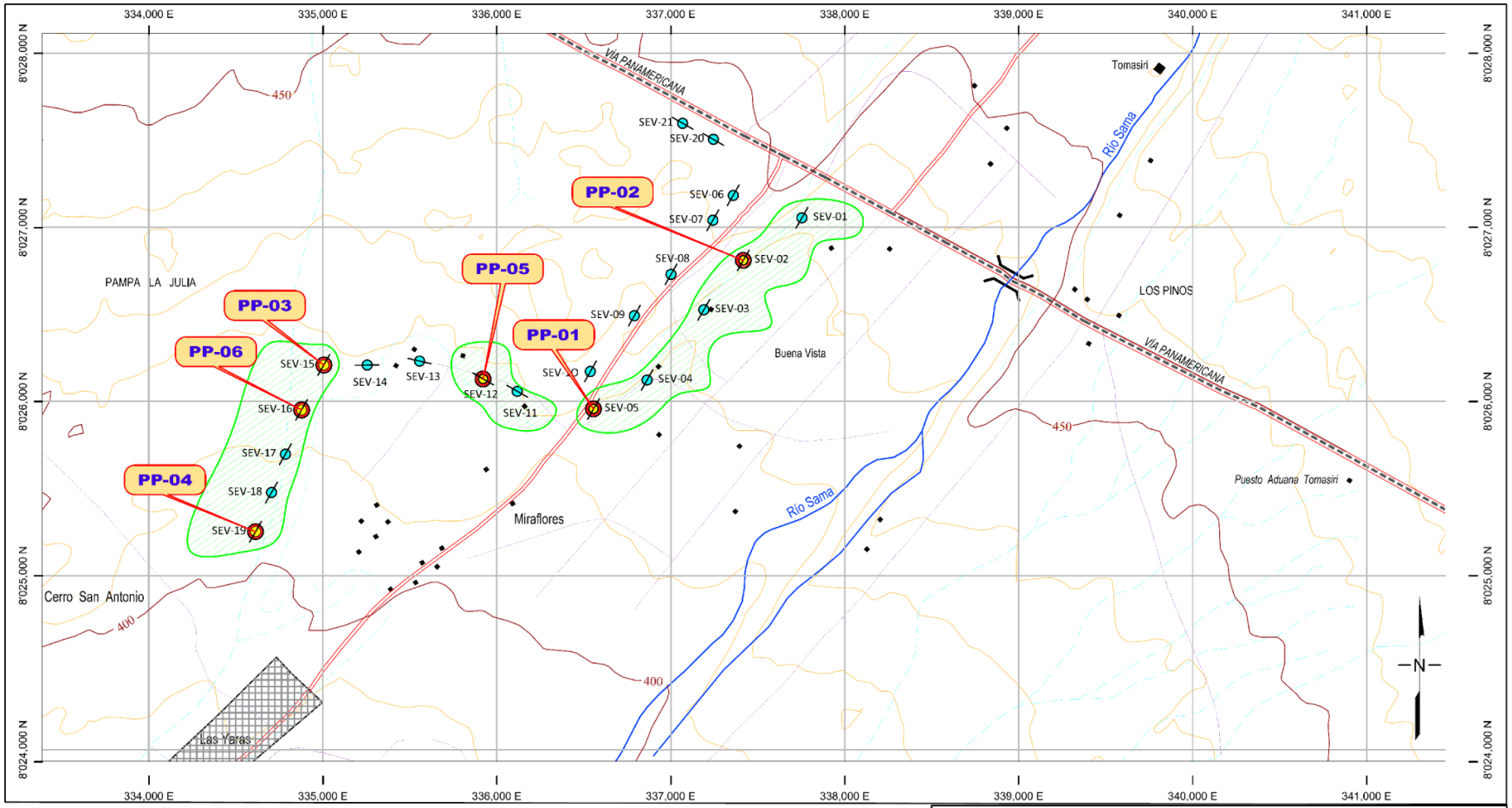
Se han planteado seis alternativas de ubicación para la perforación de 02 pozos de explotación de aguas subterráneas, en la zona de estudio.

Estas alternativas han sido fijadas por las coordenadas UTM-WGS-84 Zona 19S las que figuran en la tabla N°26.

Tabla N°23. Ubicación de puntos Alternativos Perforación Pozo de explotación Aguas Subterráneas.

POZO	COORDENADAS UTM: WGS-84	
	Este (m)	Norte (m)
PP 01 – SEV 05	336,556	8’025,957
PP 02 – SEV 02	337,417	8’026,810
PP 03 – SEV 15	335,006	8’026,209
PP 04 – SEV 19	334,613	8’025,252
PP 05 – SEV 12	335,921	8’026,129
PP 06 – SEV 16	334,878	8’025,951

Fuente: Elaboración propia.



LEYENDA

- Sondaje Eléctrico Vertical
- Pozo Propuesto (PP)
- Zona favorable

SIMBOLOGÍA

- Vía asfaltada
- Vía carrozable
- Curva mayor
- Curva menor
- Quebrada
- Río

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:
APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

UBICACIÓN ZONAS FAVORABLES EXPLOTACIÓN DE POZOS

ELABORADO :	ESCALA :	DATUM :	MAPA:
Bach. Larissa Yampasi Surco	1/30,000	WGS 84 - Zona 19S	07
DISTRITO :	**PROVINCIA :**	**REGIÓN :**	
SAMA	TACNA	TACNA	

Pozo Proyectado PP-01 (SEV-05): Esta alternativa propone lo siguiente:

- No existen pozos en explotación a menos de 2,570m.
- Nivel de agua estimado 10m de profundidad.
- Las resistividades de 16Ohm-m del acuífero y el espesor total de 60m caracteriza a un acuífero de regular y buena permeabilidad potencialmente explotable, que permite recomendar la perforación de un pozo de 70m de profundidad.
- El perfil litológico para encontrarse se aprecia en lámina N°06.

Pozo Proyectado PP-02 (SEV-02): Esta alternativa propone lo siguiente:

- No existen pozos en explotación a menos de 3,730m.
- Nivel de agua estimado 10m de profundidad.
- Las resistividades de 32 y 12Ohm-m del acuífero y el espesor total de 60m caracteriza a un acuífero de regular y buena permeabilidad potencialmente explotable, que permite recomendar la perforación de un pozo de 70m de profundidad.
- El perfil litológico para encontrarse se aprecia en lámina N°07**.**

Pozo Proyectado PP-03 (SEV-15): Esta alternativa propone lo siguiente:

- No existen pozos en explotación a menos de 1,240m.
- Nivel de agua estimado 38m de profundidad.
- Las resistividades de 13Ohm-m del acuífero y el espesor total de 62m caracteriza a un acuífero de regular y buena permeabilidad potencialmente explotable, que permite recomendar la perforación de un pozo de 100m de profundidad.
- El perfil litológico para encontrarse se aprecia en lámina N°08**.**

Pozo Proyectado PP-04 (SEV-19): Esta alternativa propone lo siguiente:

- No existen pozos en explotación a menos de 550m.
- Nivel de agua estimado 20m de profundidad.
- Las resistividades de 23Ohm-m del acuífero y el espesor total de 50m caracteriza a un acuífero de regular y buena permeabilidad potencialmente

explotable, que permite recomendar la perforación de un pozo de 70m de profundidad.

- El perfil litológico para encontrarse se aprecia en la lámina N°09.

Pozo Proyectado PP-05 (SEV-12): Esta alternativa propone lo siguiente:

- No existen pozos en explotación a menos de 2,580m.
- Nivel de agua estimado 50m de profundidad.
- Las resistividades de 25Ohm-m del acuífero y el espesor total de 50m caracteriza a un acuífero de regular y buena permeabilidad potencialmente explotable, que permite recomendar la perforación de un pozo de 100m de profundidad.
- El perfil litológico para encontrarse se aprecia en la lámina N°10.

Pozo Proyectado PP-06 (SEV-16): Esta alternativa propone lo siguiente:

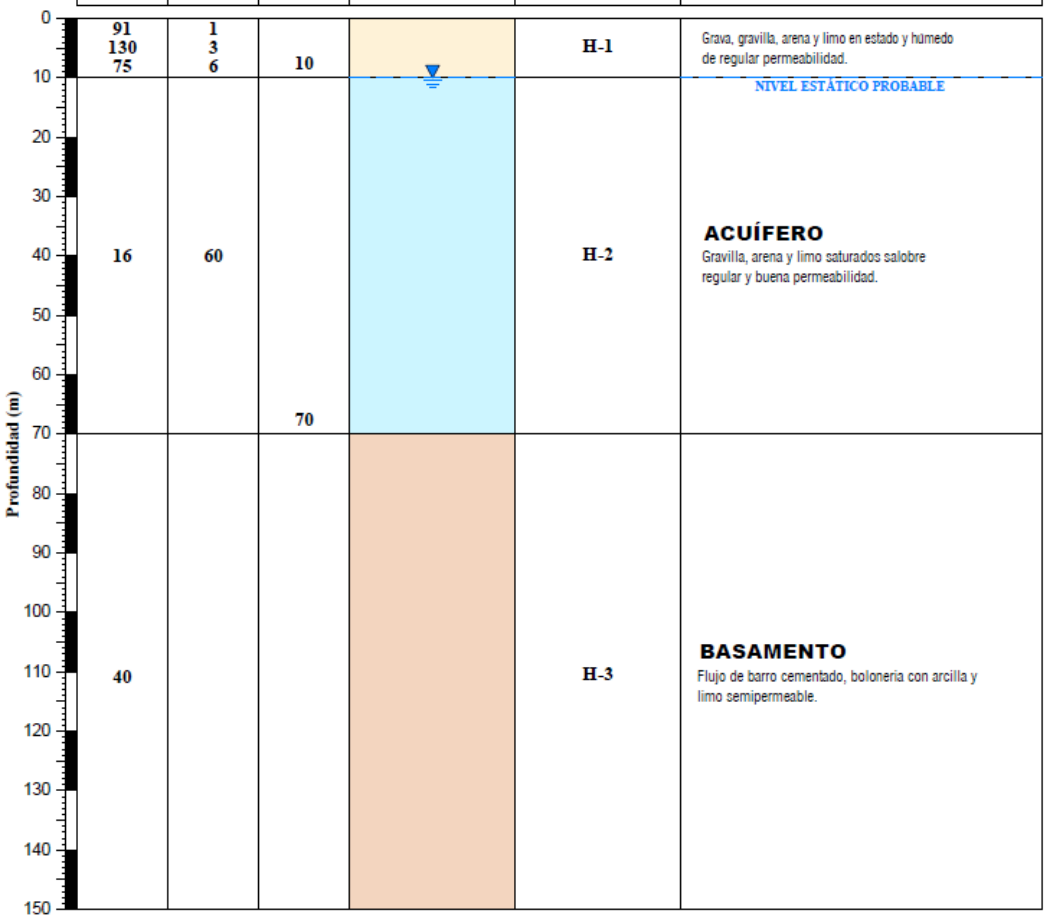
- No existen pozos en explotación a menos de 1270m.
- Nivel de agua estimado 35m de profundidad.
- Las resistividades de 37Ohm-m del acuífero y el espesor total de 47m caracteriza a un acuífero de regular y buena permeabilidad potencialmente explotable, que permite recomendar la perforación de un pozo de 82m de profundidad.
- El perfil litológico para encontrarse se aprecia en la lámina N°11.

COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE POZO PP-01

Tesis : Aplicación del método de Sondaje Eléctrico Vertical para la ubicación de pozos de agua subterránea en los centros poblados de Buena Vista y Miraflores, distrito de Sama, Provincia y Región de Tacna.

Ubicación : Tacna - Tacna - Sama

SEV : SEV 05 **Pozo** : PP-01



ρ (Ω -m)	E (m)	H (m)	Columna Litológica	Horizonte Geoeléctrico	Descripción
91 130 75	1 3 6	10		H-1	Grava, gravilla, arena y limo en estado y húmedo de regular permeabilidad.
					NIVEL ESTÁTICO PROBABLE
16	60	70		H-2	**ACUÍFERO** Gravilla, arena y limo saturados salobre regular y buena permeabilidad.
40				H-3	**BASAMENTO** Flujo de barro cementado, boloneria con arcilla y limo semipermeable.

LEYENDA

- H Profundidad a la base del estrato en m
- Probable nivel freático
- ρ Resistividad en ohm-m
- E Espesor del estrato en m

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:
APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE POZO PP-01

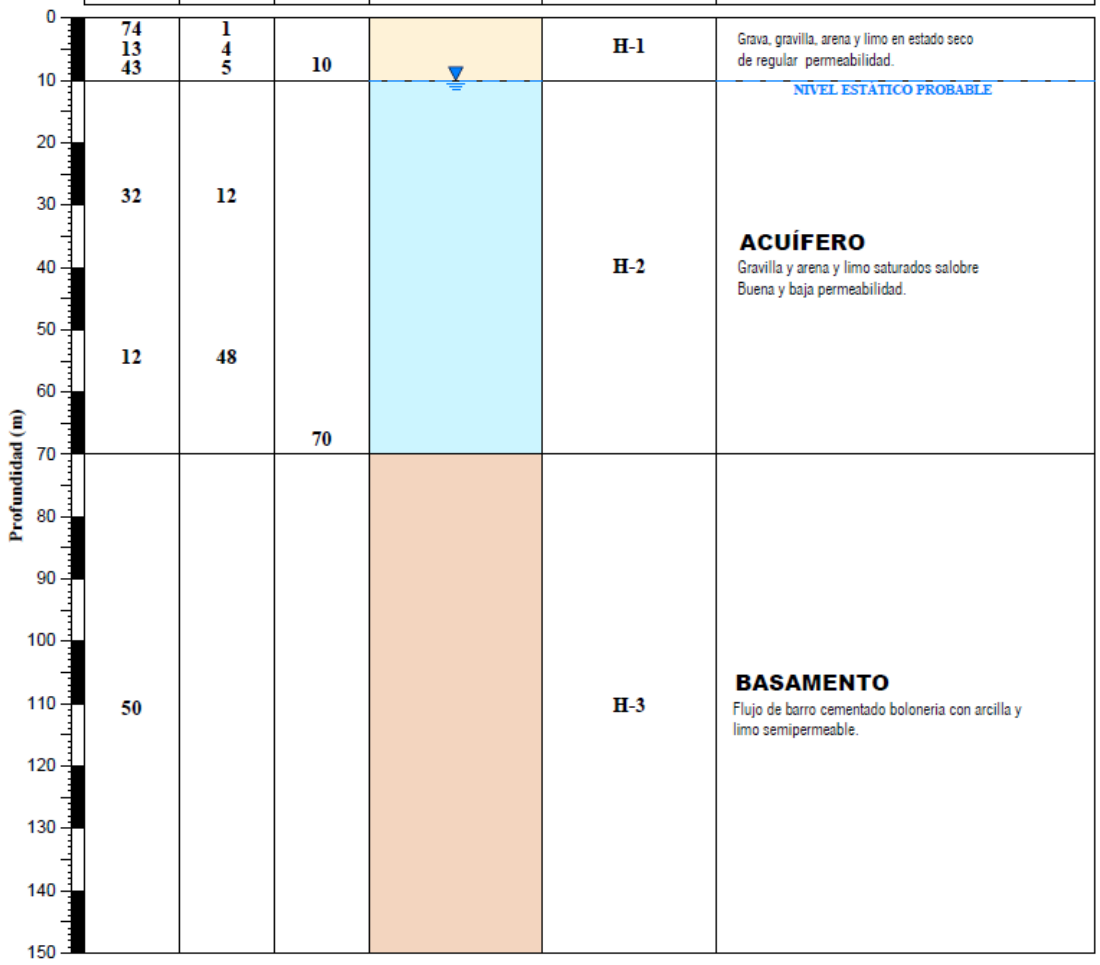
ELABORADO :	ESCALA :	DATUM :	LÁMINA:
Bach. Larissa Yampasi Surco	1/1,000		06
DISTRITO : SAMA	PROVINCIA : TACNA	REGIÓN : TACNA	

COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE POZO PP-02

Tesis : Aplicación del método de Sondaje Eléctrico Vertical para la ubicación de pozos de agua subterránea en los centros poblados de Buena Vista y Miraflores, distrito de Sama, Provincia y Región de Tacna.

Ubicación : Tacna - Tacna - Sama

SEV : SEV 02 **Pozo** : PP-02



ρ (Ω -m)	E (m)	H (m)	Columna Litológica	Horizonte Geoeléctrico	Descripción
74 13 43	1 4 5	10		H-1	Grava, gravilla, arena y limo en estado seco de regular permeabilidad.
					NIVEL ESTÁTICO PROBABLE
32 12	12 48	70		H-2	**ACUÍFERO** Gravilla y arena y limo saturados salobre Buena y baja permeabilidad.
50				H-3	**BASAMENTO** Flujo de barro cementado boloneria con arcilla y limo semipermeable.

LEYENDA

- H Profundidad a la base del estrato en m
- Probable nivel freático
- ρ Resistividad en ohm-m
- E Espesor del estrato en m

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:
APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE POZO PP-02

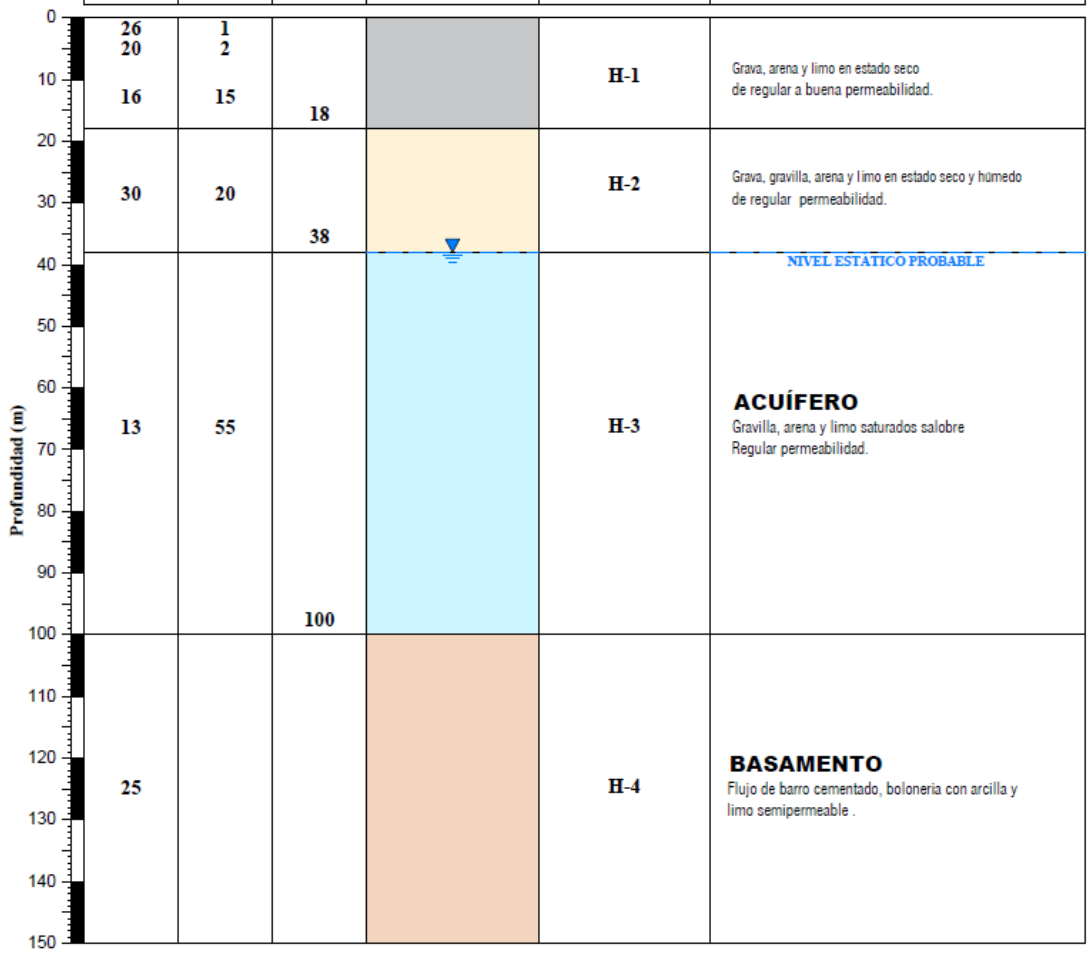
ELABORADO :	ESCALA :	DATUM :	LÁMINA:
Bach. Larissa Yampasi Surco	1/1,000		07
DISTRITO :	**PROVINCIA :**	**REGIÓN :**	
SAMA	TACNA	TACNA	

COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE POZO PP-03

Tesis : Aplicación del método de Sondaje Eléctrico Vertical para la ubicación de pozos de agua subterránea en los centros poblados de Buena Vista y Miraflores, distrito de Sama, Provincia y Región de Tacna.

Ubicación : Tacna - Tacna - Sama

SEV : SEV 15 **Pozo** : PP-03



ρ (Ω -m)	E (m)	H (m)	Columna Litológica	Horizonte Geoeléctrico	Descripción
26 20 16	1 2 15	18		H-1	Grava, arena y limo en estado seco de regular a buena permeabilidad.
30	20	38		H-2	Grava, gravilla, arena y limo en estado seco y húmedo de regular permeabilidad.
13	55	100		H-3	**ACUÍFERO** Gravilla, arena y limo saturados salobre Regular permeabilidad.
25				H-4	**BASAMENTO** Flujo de barro cementado, boloneria con arcilla y limo semipermeable .

LEYENDA

- H Profundidad a la base del estrato en m
- Probable nivel freático
- ρ Resistividad en ohm-m
- E Espesor del estrato en m

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:
APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE POZO PP-03

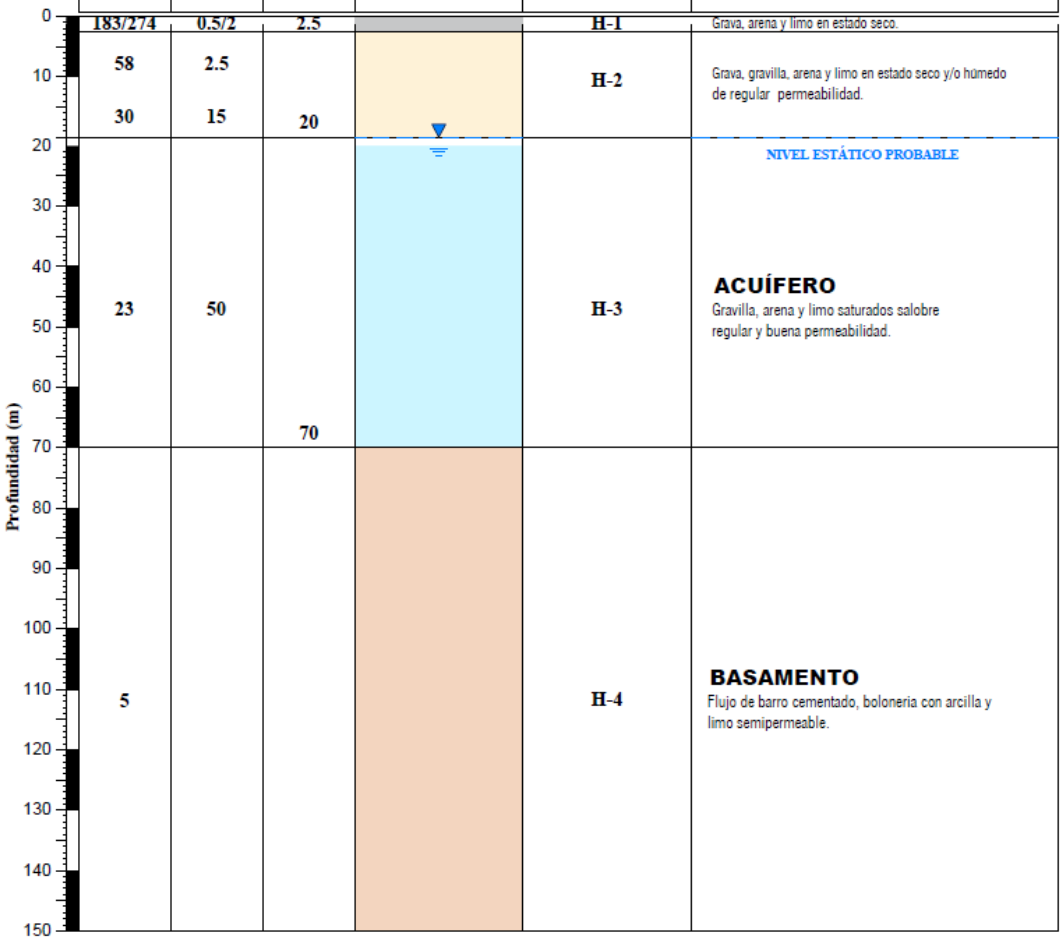
ELABORADO :	ESCALA :	DATUM :	LÁMINA:
Bach. Larissa Yampasi Surco	1/1,000		08
DISTRITO : SAMA	PROVINCIA : TACNA	REGIÓN : TACNA	

COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE POZO PP-04

Tesis : Aplicación del método de Sondaje Eléctrico Vertical para la ubicación de pozos de agua subterránea en los centros poblados de Buena Vista y Miraflores, distrito de Sama, Provincia y Región de Tacna.

Ubicación : Tacna - Tacna - Sama

SEV : SEV 19 **Pozo** : PP-04



ρ (Ω -m)	E (m)	H (m)	Columna Litológica	Horizonte Geoeléctrico	Descripción
183/274	0.5/2	2.5		H-1	Grava, arena y limo en estado seco.
58 30	2.5 15	20		H-2	Grava, gravilla, arena y limo en estado seco y/o húmedo de regular permeabilidad.
23	50	70		H-3	NIVEL ESTÁTICO PROBABLE **ACUÍFERO** Gravilla, arena y limo saturados salobre regular y buena permeabilidad.
5				H-4	**BASAMENTO** Flujo de barro cementado, bolonería con arcilla y limo semipermeable.

LEYENDA

- H Profundidad a la base del estrato en m
- Probable nivel freático
- ρ Resistividad en ohm-m
- E Espesor del estrato en m

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:
APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE POZO PP-04

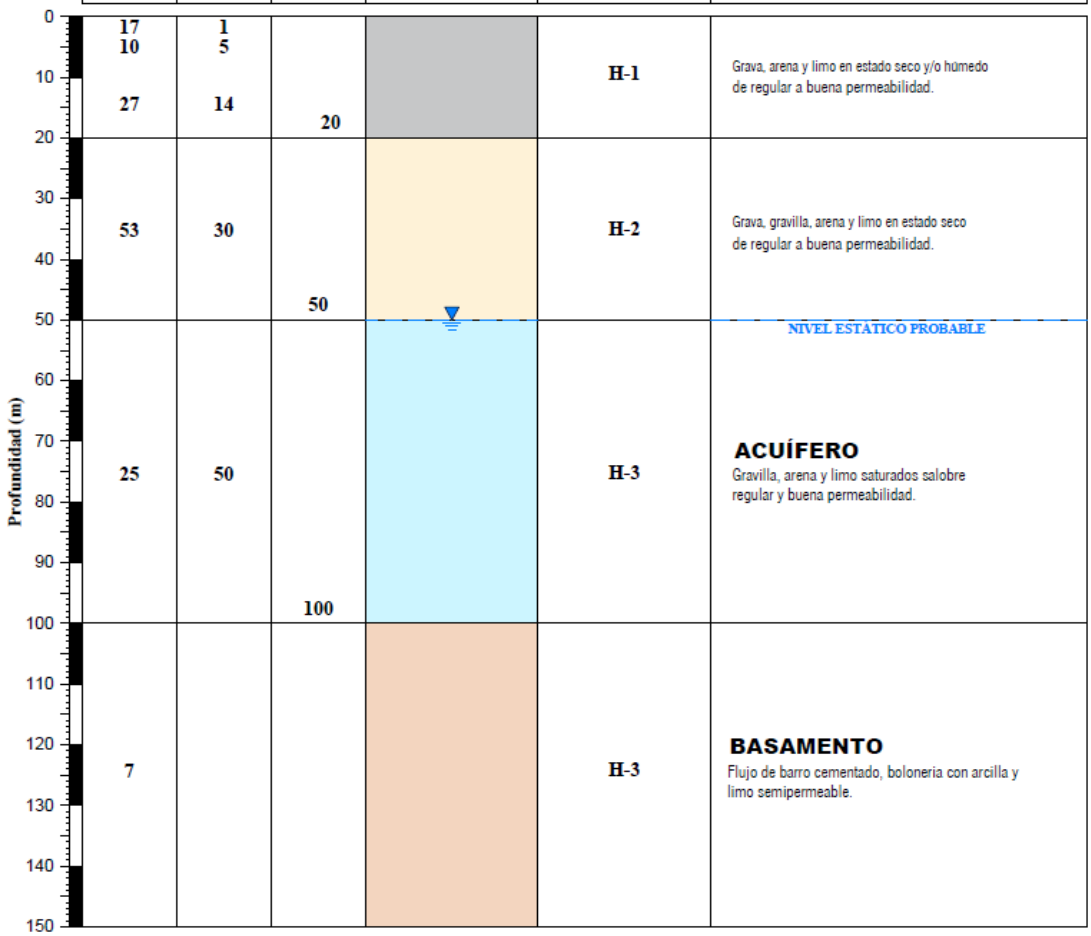
ELABORADO :	ESCALA :	DATUM :	LÁMINA:
Bach. Larissa Yampasi Surco	1/1,000		09
DISTRITO : SAMA	PROVINCIA : TACNA	REGIÓN : TACNA	

COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE POZO PP-05

Tesis : Aplicación del método de Sondaje Eléctrico Vertical para la ubicación de pozos de agua subterránea en los centros poblados de Buena Vista y Miraflores, distrito de Sama, Provincia y Región de Tacna.

Ubicación : Tacna - Tacna - Sama

SEV : SEV 12 **Pozo** : PP-05



ρ (Ω -m)	E (m)	H (m)	Columna Litológica	Horizonte Geoeléctrico	Descripción
17 10 27	1 5 14	20		H-1	Grava, arena y limo en estado seco y/o húmedo de regular a buena permeabilidad.
53	30	50		H-2	Grava, gravilla, arena y limo en estado seco de regular a buena permeabilidad.
25	50	100		H-3	NIVEL ESTÁTICO PROBABLE **ACUÍFERO** Gravilla, arena y limo saturados salobre regular y buena permeabilidad.
7				H-3	**BASAMENTO** Flujo de barro cementado, bolonería con arcilla y limo semipermeable.

LEYENDA

- H Profundidad a la base del estrato en m
- Probable nivel freático
- ρ Resistividad en ohm-m
- E Espesor del estrato en m

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:
APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE POZO PP-05

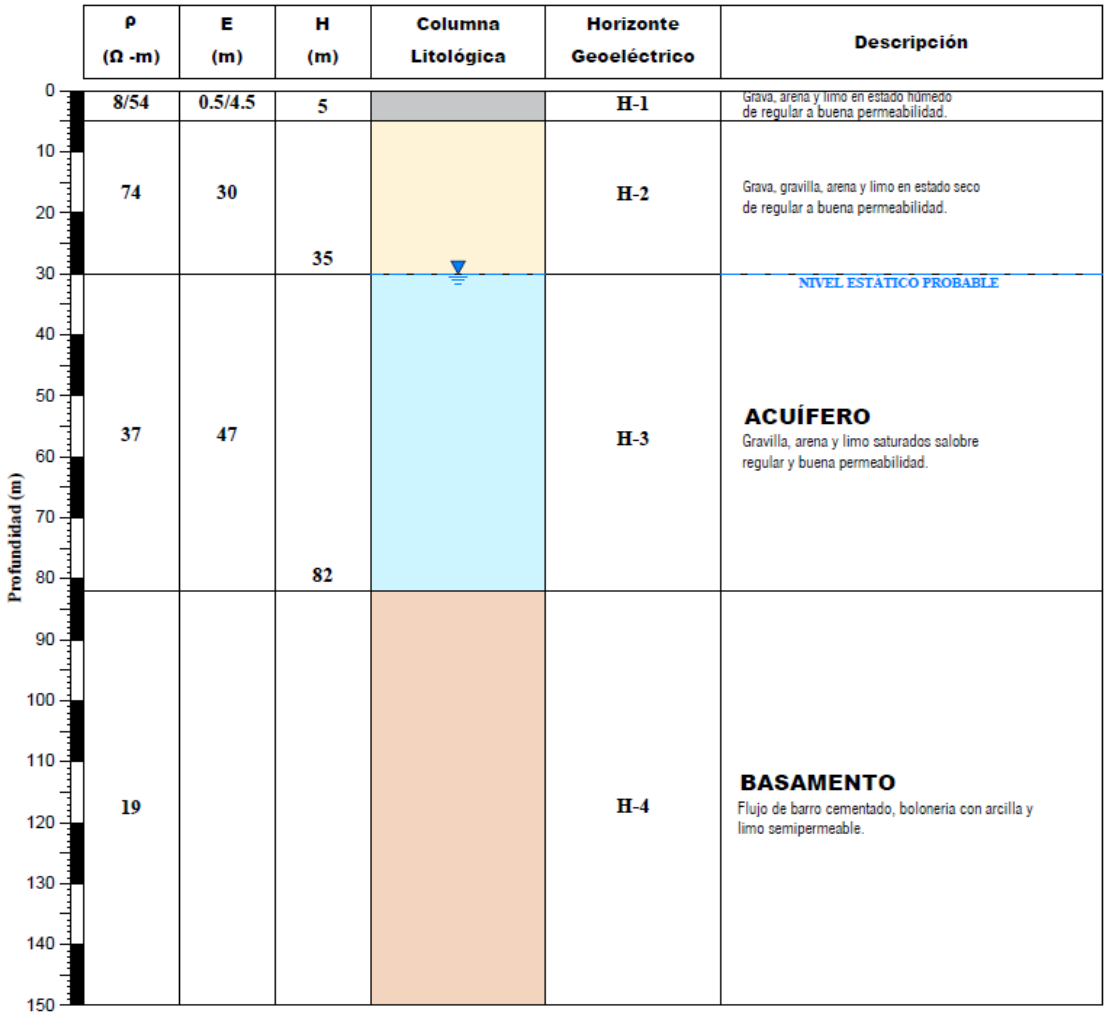
ELABORADO :	ESCALA :	DATUM :	LÁMINA:
Bach. Larissa Yampasi Surco	1/1,000		10
DISTRITO : SAMA	**PROVINCIA :** TACNA	**REGIÓN :** TACNA	

COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE POZO PP-06

Tesis : Aplicación del método de Sondaje Eléctrico Vertical para la ubicación de pozos de agua subterránea en los centros poblados de Buena Vista y Miraflores, distrito de Sama, Provincia y Región de Tacna.

Ubicación : Tacna - Tacna - Sama

SEV : SEV 16 **Pozo** : PP-06



ρ (Ω -m)	E (m)	H (m)	Columna Litológica	Horizonte Geoeléctrico	Descripción
8/54	0.5/4.5	5		H-1	Grava, arena y limo en estado húmedo de regular a buena permeabilidad.
74	30	35		H-2	Grava, gravilla, arena y limo en estado seco de regular a buena permeabilidad.
37	47	82		H-3	NIVEL ESTÁTICO PROBABLE **ACUÍFERO** Gravilla, arena y limo saturados salobre regular y buena permeabilidad.
19				H-4	**BASAMENTO** Flujo de barro cementado, boloneria con arcilla y limo semipermeable.

LEYENDA

- H Profundidad a la base del estrato en m
- Probable nivel freático
- ρ Resistividad en ohm-m
- E Espesor del estrato en m

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:
APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE POZO PP-06

ELABORADO :	ESCALA :	DATUM :	LÁMINA:
Bach. Larissa Yampasi Surco	1/1,000		11
DISTRITO :	**PROVINCIA :**	**REGIÓN :**	
SAMA	TACNA	TACNA	

6.1.2 Diseño Preliminar de los Pozos de Explotación Propuestos

Los resultados de prospección geofísica por el método de sondajes eléctricos verticales han definido condiciones hidrogeológicas muy favorables hasta los 70 y 100m de profundidad respectivamente; por debajo de ésta se encontraría el flujo de barro cementado.

En base a este resultado se han proyectado los Diseños Técnicos Preliminares; estimándose un nivel dinámico para la ubicación de los filtros (Láminas Nº06, 07, 08, 09 y 10). Diseños que se describen a continuación:

Pozo Proyectado PP-01 (SEV-05) y PP-02 (SEV-02)

Perforación

De 0.00 a 10.00m : Excavación de antepozo diámetro 1.20m x 3m.

De 10.00 a 70.00m : Perforación mecánica diámetro 21".

Entubado

00.00 a 20.00m : Tubería ciega DN 15" diámetro 5mm espesor, acero inoxidable.

20.00 a 54.00m : Filtro de acero inox. Clase 304 tipo puente trapezoidal DN 15" de diámetro, SLOT 0.5 -1.00mm.

54.00 a 59.00m : Cámara de Bombeo: Tubería ciega de acero inoxidable DN 15" diámetro 5mm espesor.

59.00 a 67.60m : Filtro de acero inox. Clase 304 tipo puente trapezoidal DN 15" de diámetro, SLOT 0.5 -1.00mm.

67.60 a 70.00m : Tubería ciega DN 15" diámetro 5mm espesor, acero inoxidable

69.00 a 70.00m : Sello de fondo de cemento de 1m.

Prefiltro o Empaque de Grava

El espacio anular (3”) que se encuentra entre la perforación (21”) y el entubado definitivo (15”) debe quedar rellenado con grava seleccionada (redondeada, graduada y limpia) de 4 a 8 mm de diámetro.

Pozo Proyectado PP-03 (SEV-15)

Perforación

De 0.00 a 38.00m : Excavación de antepozo diámetro 1.20m x 3m.

De 38.00 a 100.00m : Perforación mecánica diámetro 21”.

Entubado

00.00 a 48.00m	Tubería ciega DN 15” diámetro 5mm espesor, acero inoxidable.
48.00 a 84.00m	Filtro de acero inox. Clase 304 tipo puente trapezoidal DN 15” de diámetro, SLOT 0.5 -1.00mm.
84.00 a 89.00m	Cámara de Bombeo: Tubería ciega de acero inoxidable DN 15” diámetro 5mm espesor.
89.00 a 97.60m	Filtro de acero inox. Clase 304 tipo puente trapezoidal DN 15” de diámetro, SLOT 0.5 -1.00mm.
97.60 a 100.00m	Tubería ciega DN 15” diámetro 5mm espesor, acero inoxidable
99.00 a 100.00m	Sello de fondo de cemento de 1m.

Prefiltro o Empaque de Grava

El espacio anular (3”) que se encuentra entre la perforación (21”) y el entubado definitivo (15”) debe quedar rellenado con grava seleccionada (redondeada, graduada y limpia) de 4 a 8 mm de diámetro.

Pozo Proyectado PP-04 (SEV-19)

Perforación

De 0.00 a 20.00m : Excavación de antepozo diámetro 1.20m x 3m.

De 20.00 a 70.00m : Perforación mecánica diámetro 21”.

Entubado

00.00 a 30.00m	Tubería ciega DN 15” diámetro 5mm espesor, acero inoxidable.
30.00 a 54.00m	Filtro de acero inox. Clase 304 tipo puente trapezoidal DN 15” de diámetro, SLOT 0.5 -1.00mm.
54.00 a 59.00m	Cámara de Bombeo: Tubería ciega de acero inoxidable DN 15” diámetro 5mm espesor.
59.00 a 67.60m	Filtro de acero inox. Clase 304 tipo puente trapezoidal DN 15” de diámetro, SLOT 0.5 -1.00mm.
67.60 a 70.00m	Tubería ciega DN 15” diámetro 5mm espesor, acero inoxidable
69.00 a 70.00m	Sello de fondo de cemento de 1m.

Prefiltro o Empaque de Grava

El espacio anular (3”) que se encuentra entre la perforación (21”) y el entubado definitivo (15”) debe quedar rellenado con grava seleccionada (redondeada, graduada y limpia) de 4 a 8 mm de diámetro.

Pozo Proyectado PP-05 (SEV-12)

Perforación

De 0.00 a 50.00m : Excavación de antepozo diámetro 1.20m x 3m.

De 50.00 a 100.00m : Perforación mecánica diámetro 21”.

Entubado

00.00 a 60.00m	Tubería ciega DN 15” diámetro 5mm espesor, acero inoxidable.
60.00 a 84.00m	Filtro de acero inox. Clase 304 tipo puente trapezoidal DN 15” de diámetro, SLOT 0.5 -1.00mm.
84.00 a 89.00m	Cámara de Bombeo: Tubería ciega de acero inoxidable DN 15” diámetro 5mm espesor.
89.00 a 97.60m	Filtro de acero inox. Clase 304 tipo puente trapezoidal DN 15” de diámetro, SLOT 0.5 -1.00mm.
97.60 a 100.00m	Tubería ciega DN 15” diámetro 5mm espesor, acero inoxidable
99.00 a 100.00m	Sello de fondo de cemento de 1m.

Pre filtro o Empaque de Grava

El espacio anular (3”) que se encuentra entre la perforación (21”) y el entubado definitivo (15”) debe quedar rellenado con grava seleccionada (redondeada, graduada y limpia) de 4 a 8 mm de diámetro

Pozo Proyectado PP-06 (SEV-16)

Perforación

De 0.00 a 30.00m	: Excavación de antepozo diámetro 1.20m x 3m.
De 35.00 a 82.00m	: Perforación mecánica diámetro 21”.

Entubado

00.00 a 45.00m	Tubería ciega DN 15” diámetro 5mm espesor, acero inoxidable.
45.00 a 66.00m	Filtro de acero inox. Clase 304 tipo puente trapezoidal DN 15” de diámetro, SLOT 0.5 -1.00mm.
66.00 a 71.00m	Cámara de Bombeo: Tubería ciega de acero inoxidable DN 15” diámetro 5mm espesor.

71.00 a 79.60m	Filtro de acero inox. Clase 304 tipo puente trapezoidal DN 15” de diámetro, SLOT 0.5 -1.00mm.
79.60 a 82.00m	Tubería ciega DN 15” diámetro 5mm espesor, acero inoxidable
81.00 a 82.00m	Sello de fondo de cemento de 1m.

Pre-filtro o Empaque de Grava

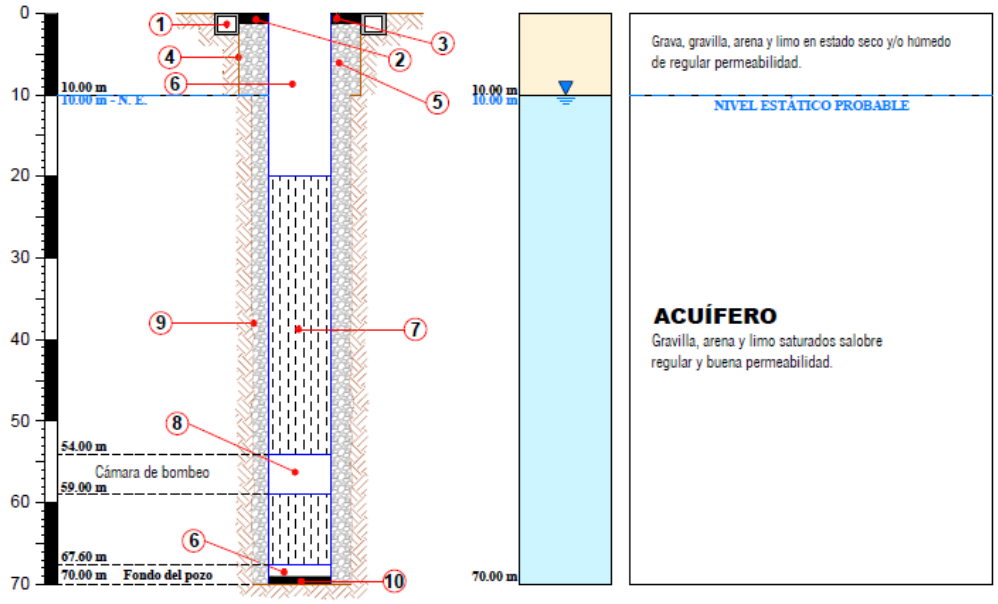
El espacio anular (3”) que se encuentra entre la perforación (21”) y el entubado definitivo (15”) debe quedar rellenado con grava seleccionada (redondeada, graduada y limpia) de 4 a 8 mm de diámetro.

DISEÑO TECNICO PROPUESTO POZO PP-01 Y PP-02

Ubicación : Tacna - Tacna - Sama

SEV : SEV 05 - SEVV 02 **Pozo** : PP-01 Y PP-02

PROF.	DISEÑO TÉCNICO PROPUESTO	COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE



ESPECIFICACIONES

1. Anillo de Concreto 1.2 x 3.0 m
2. Sello sanitario
3. Tubería de fierro G° para grava con tapa rosca 4" diámetro
4. Antepozo Profundidad = 10 m.
5. Grava seleccionada de 4 mm a 8 mm
6. Tubería ciega de acero inoxidable Clase 304 DN 15" diámetro de 5 mm espesor.
7. Filtro de acero inoxidable clase 304 tipo puente trapezoidal DN 15", diametro SLOT 0.5 - 1.0 mm
8. Tubería ciega de acero inoxidable Clase 304 DN 15" diámetro de 5 mm espesor.
9. Perforación a pared desnuda 21" diámetro
10. Sello de fondo de cemento (1m.)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

DISEÑO TÉCNICO PROPUESTO POZO PP-01 Y PP-02

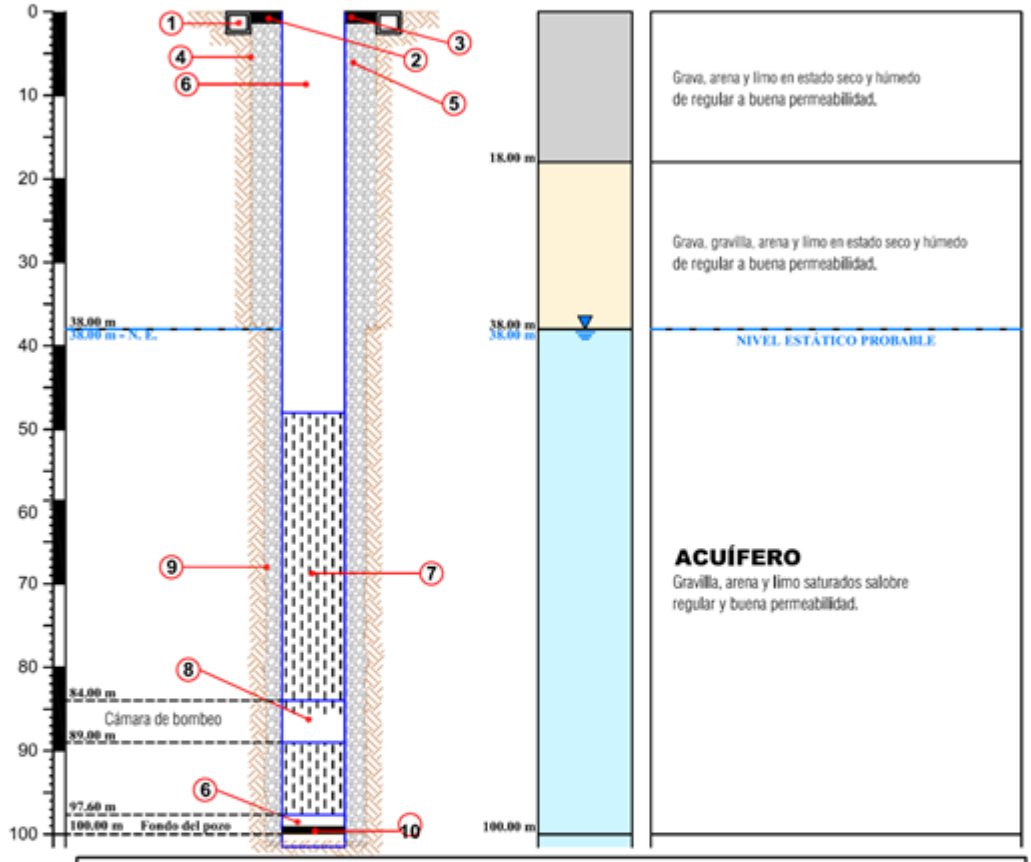
ELABORADO :	ESCALA :	DATUM :	LÁMINA:
Bach. Larissa Yampasi Gurco	1/750		12
DISTRITO : SAMA	PROVINCIA : TACNA	REGIÓN : TACNA	

DISEÑO TECNICO PROPUESTO POZO PP-03

Ubicación : Tacna - Tacna - Sama

SEV : SEV 15 **Pozo** : PP-03

PROF.	DISEÑO TÉCNICO PROPUESTO	COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE



ESPECIFICACIONES

1. Anillo de Concreto 1.2 x 3.0 m
2. Sello sanitario
3. Tubería de fierro G° para grava con tapa rosca 4" diámetro
4. Antepozo Profundidad = 38 m.
5. Grava seleccionada de 4 mm a 8 mm
6. Tubería ciega de acero inoxidable Clase 304 DN 15" diámetro de 5 mm espesor.
7. Filtro de acero inoxidable clase 304 tipo puente trapezoidal DN 15", diametro SLOT 0.5 - 1.0 mm
8. Tubería ciega de acero inoxidable Clase 304 DN 15" diámetro de 5 mm espesor.
9. Perforación a pared desnuda 21" diámetro
10. Sello de fondo de cemento (1m.)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

DISEÑO TÉCNICO PROPUESTO POZO PP-03

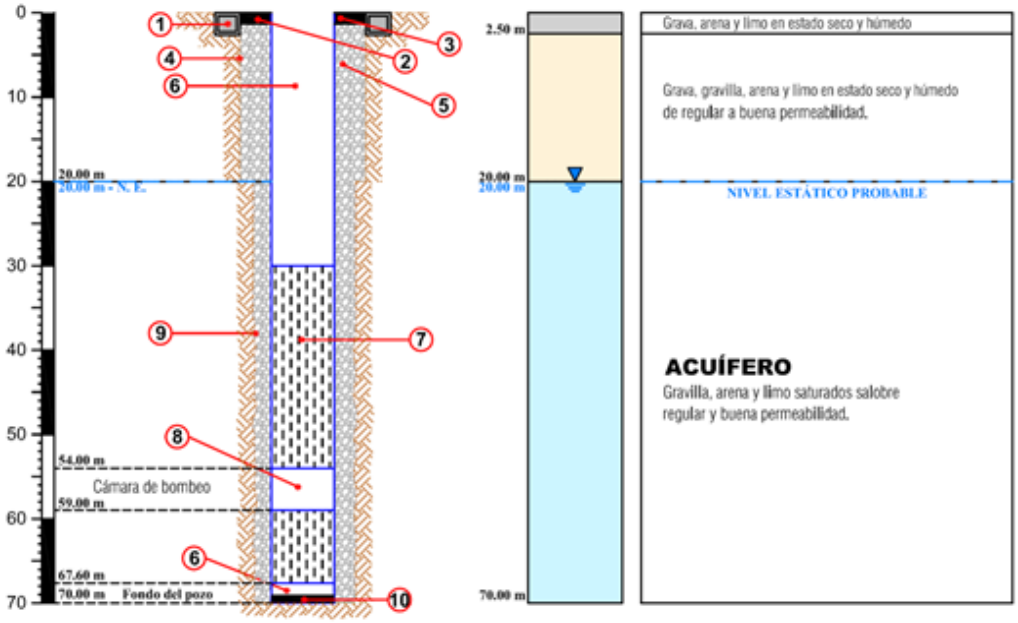
ELABORADO : Bach. Larissa Yampasi Surco	ESCALA : 1/750	DATUM :	LÁMINA: 13
DISTRITO : SAMA	PROVINCIA : TACNA	REGIÓN : TACNA	

DISEÑO TECNICO PROPUESTO POZO PP-04

Ubicación : Tacna - Tacna - Sama

SEV : SEV 19 **Pozo** : PP-04

PROF.	DISEÑO TÉCNICO PROPUESTO	COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE



ESPECIFICACIONES

1. Anillo de Concreto 1.2 x 3.0 m
2. Sello sanitario
3. Tubería de fierro G° para grava con tapa rosca 4" diámetro
4. Antepozo Profundidad = 20 m.
5. Grava seleccionada de 4 mm a 8 mm
6. Tubería ciega de acero inoxidable Clase 304 DN 15" diámetro de 5 mm espesor.
7. Filtro de acero inoxidable clase 304 tipo puente trapezoidal DN 15", diametro SLOT 0.5 - 1.0 mm
8. Tubería ciega de acero inoxidable Clase 304 DN 15" diámetro de 5 mm espesor.
9. Perforación a pared desnuda 21" diámetro
10. Sello de fondo de cemento (1m.)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

DISEÑO TÉCNICO PROPUESTO POZO PP-04

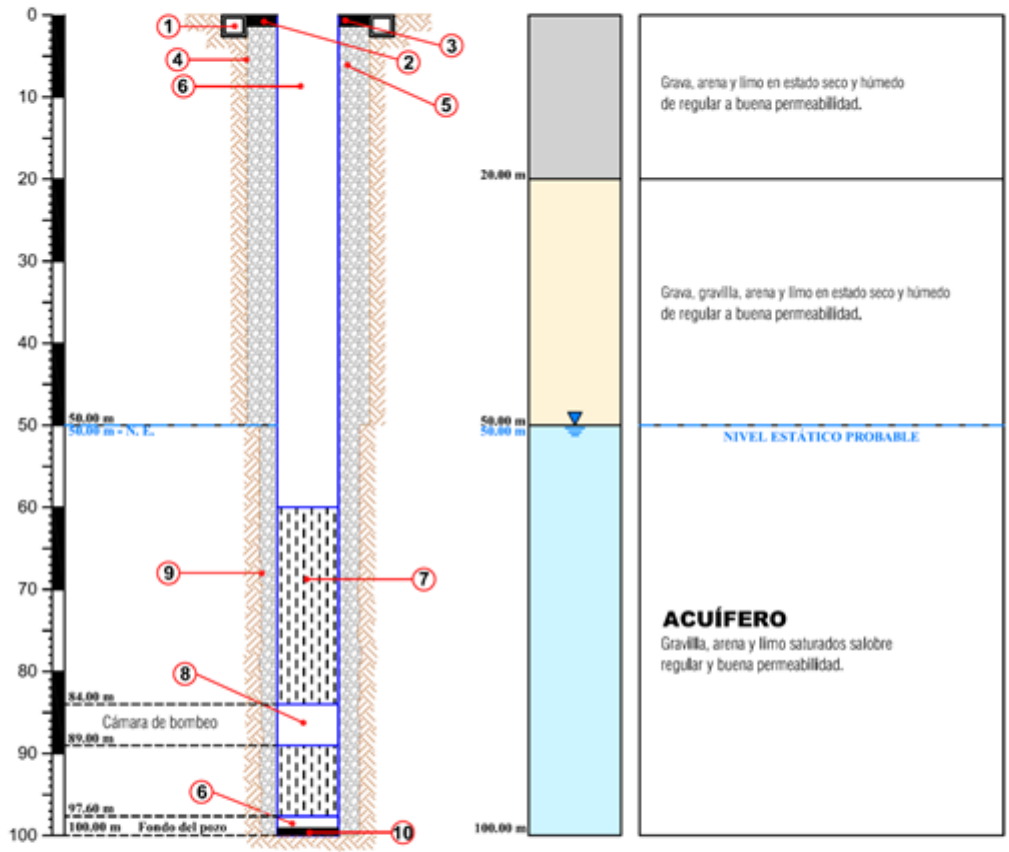
ELABORADO :	ESCALA :	DATUM :	LÁMINA:
Bach. Larissa Yampasi Surco	1/750		14
DISTRITO : SAMA	PROVINCIA : TACNA	REGIÓN : TACNA	

DISEÑO TECNICO PROPUESTO POZO PP-05

Ubicación : Tacna - Tacna - Sama

SEV : SEV 12 **Pozo** : PP-05

PROF.	DISEÑO TÉCNICO PROPUESTO	COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE



ESPECIFICACIONES

1. Anillo de Concreto 1.2 x 3.0 m
2. Sello sanitario
3. Tubería de fierro G° para grava con tapa rosca 4" diámetro
4. Antepozo Profundidad = 50 m.
5. Grava seleccionada de 4 mm a 8 mm
6. Tubería ciega de acero inoxidable Clase 304 DN 15" diámetro de 5 mm espesor.
7. Filtro de acero inoxidable clase 304 tipo puente trapezoidal DN 15", diametro SLOT 0.5 - 1.0 mm
8. Tubería ciega de acero inoxidable Clase 304 DN 15" diámetro de 5 mm espesor.
9. Perforación a pared desnuda 21" diámetro
10. Sello de fondo de cemento (1m.)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

DISEÑO TÉCNICO PROPUESTO POZO PP-05

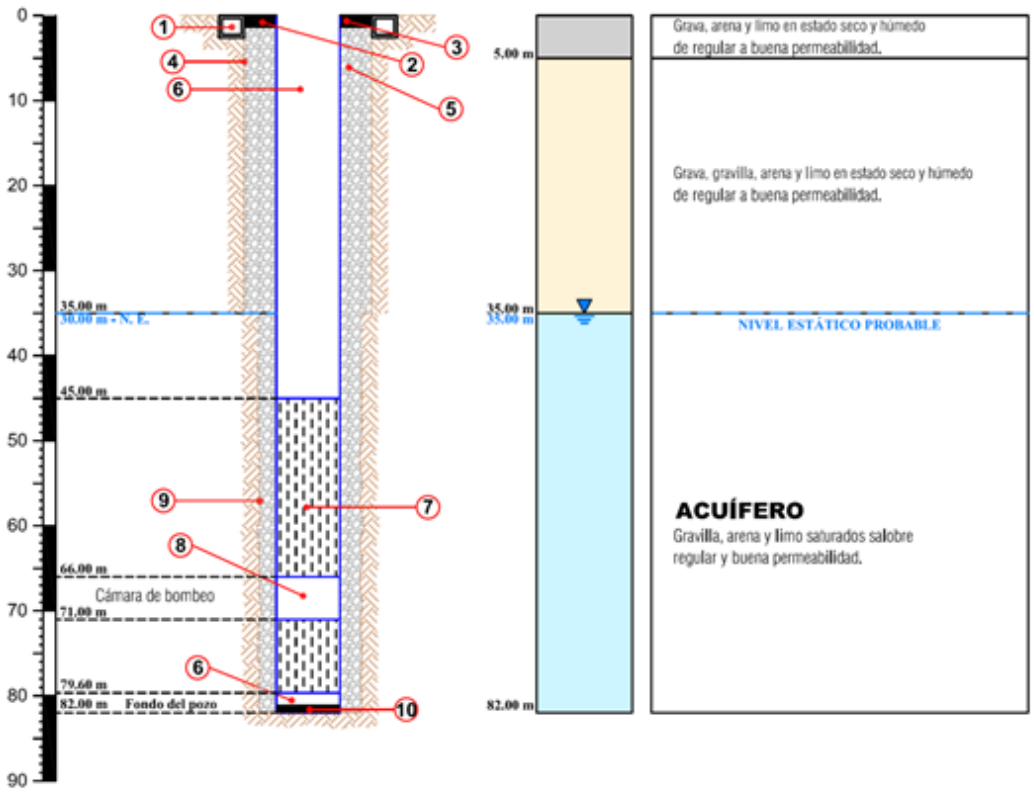
ELABORADO :	ESCALA :	DATUM :	LÁMINA:
Bach. Larissa Yampasi Surco	1/750		15
DISTRITO : SAMA	PROVINCIA : TACNA	REGIÓN : TACNA	

DISEÑO TECNICO PROPUESTO POZO PP-06

Ubicación : Tacna - Tacna - Sama

SEV : SEV 16 **Pozo** : PP-06

PROF.	DISEÑO TÉCNICO PROPUESTO	COLUMNA LITOLÓGICA PROBABLE



ESPECIFICACIONES

1. Anillo de Concreto 1.2 x 3.0 m
2. Sello sanitario
3. Tubería de fierro G° para grava con tapa rosca 4" diámetro
4. Antepozo Profundidad = 30 m.
5. Grava seleccionada de 4 mm a 8 mm
6. Tubería ciega de acero inoxidable Clase 304 DN 15" diámetro de 5 mm espesor.
7. Filtro de acero inoxidable clase 304 tipo puente trapezoidal DN 15", diametro SLOT 0.5 - 1.0 mm
8. Tubería ciega de acero Inoxidable Clase 304 DN 15" diámetro de 5 mm espesor.
9. Perforación a pared desnuda 21" diámetro
10. Sello de fondo de cemento (1m.)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

TESIS:

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL PARA LA UBICACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS CENTROS POBLADOS DE BUENA VISTA Y MIRAFLORES, DISTRITO DE SAMA, PROVINCIA Y REGIÓN DE TACNA

DISEÑO TÉCNICO PROPUESTO POZO PP-06

ELABORADO :	ESCALA :	DATUM :	LÁMINA:
Bach. Larissa Yampasi Surco	1/750		16
DISTRITO :	**PROVINCIA :**	**REGIÓN :**	
SAMA	TACNA	TACNA	

CONCLUSIONES

1. En cuanto a la morfología de las curvas de los SEVs, estas tienen la forma del tipo H, según la curva patrón de Orellana (1982) siendo esta una característica que define mejor el límite del contacto geoeléctrico de los horizontes para el presente estudio en la detección del agua subterránea.
2. Los resultados de prospección geofísica han identificado la probable configuración del subsuelo, encontrando la presencia de 04 horizontes.
3. El Horizonte I, no saturado superficial y el Horizonte II no saturado subsuperficial, constituídos estos por arena, grava, limo en estado seco y/o húmedo tiene de regular a buena permeabilidad; correponderían a la zona de aireación del acuífero.
4. El Horizonte III, saturado acuífero permeable tiene resistividades de 11 a 56Ohm-m, dichos valores reunirían las condiciones favorables para el almacenamiento de agua subterránea; con una profundidad que oscila entre los 50 y 140m y con un espesores de 30 a 95m.
5. El Horizonte IV, saturado, acuífero semi-impermeable, tiene valores relativamente bajos de resistividad de 5 a 134Ohm-m, a pesar de que estos se encuentran en este horizonte esto se debería a que está conformado por caliche y se encontrarían conteniendo al acuífero.
6. El caudal del río Sama no se ve afectado en todo el año, lo que evidencia la recarga permanente del agua subterránea; siendo la fuente principal de recarga del acuífero; además las áreas de cultivo y la presencia de canales de regadío, actuarían como fuente de recarga secundaria; que han sido comprobadas por los resultados obtenidos en los pozos en actual explotación en el distrito de Sama las Yaras.
7. Las zonas favorables para ubicar los pozos de explotación de aguas subterráneas en el distrito de Sama, relacionan los valores de resistividad y espesor del Horizonte III, determinándose la ubicación de 06 pozos.
8. En el centro poblado de Buena Vista se propone ubicar 02 pozos, el pozo N°1 ubicado en el SEV – 05 con un espesor de 60m y una resistividad de 16Ohm-

m; el pozo N°2, ubicado en el SEV – 02, con un espesor de 60m y resistividades de 12 a 32Ohm-m.

9. Los 04 pozos de explotación de aguas subterráneas restantes se ubican en el centro poblado de Miraflores; el pozo N°03 se encuentra en el SEV 15, con un espesor de 55m y una resistividad de 13Ohm-m; el pozo N°4 en el SEV -19, con un espesor de 50m y resistividad de 22Ohm-m; el pozo N°5 en el SEV -29, con un espesor de 50m y resistividad de 25Ohm-m; el pozo N°6 en el SEV -16, con un espesor de 47m y resistividad de 37Ohm-m.

RECOMENDACIONES

Los criterios técnicos tomados en cuenta para proponer las alternativas de perforación de pozos de explotación de aguas subterráneas en el distrito de Sama las Yaras, tienen como fundamento principal, que en la zona de estudio existe un medio físico favorable para la explotación de aguas subterráneas. Bajo esta premisa se recomienda lo siguiente:

1. Perforación de **02 pozos** de explotación de aguas subterráneas, para lo cual se han propuestos 06 alternativas; fijadas por las coordenadas UTM: WGS – 84 Zona 19S, siguientes:
    - PP 01 – SEV 05: 336,556E - 8’025,957N.
    - PP 02 – SEV 02: 337,417E - 8’026,810N.
    - PP 03 – SEV 15: 335,006E - 8’026,209N.
    - PP 04 – SEV 19: 334,613E - 8’025,252N.
    - PP 05 – SEV 12: 335,921E - 8’026,129N.
    - PP 06 – SEV 16: 334,878E - 8’025,951N.
2. La profundidad de perforación que se sugiere para las 06 alternativas propuestas es la siguiente:
    - Pozo PP - 01 (SEV-05) : 70m
    - Pozo PP - 02 (SEV-02) : 70m
    - Pozo PP - 03 (SEV-15) : 100m
    - Pozo PP - 04 (SEV-19) : 70m
    - Pozo PP - 05 (SEV-12) : 100m
    - Pozo PP - 06 (SEV-16) : 82m
3. Para el diseño definitivo de los pozos será necesario realizar diagrafías de detalle, para la colocación de tubería ciega y tubería filtro.
4. El caudal de explotación será determinado mediante una prueba de bombeo.
5. Realizar análisis físico químico y bacteriológico en laboratorios validados para determinar la calidad del agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Astier, J., L., 1975. “Geofísica Aplicada a la Hidrogeología”. PARANINFO, Madrid, España.
- Arredondo García, Roger Cancio, 2015. “Estudio de sondajes eléctricos verticales y evaluación hidrogeológica de los manantiales en la quebrada de Tasata, distrito de Polobaya – Región Arequipa”. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Auge, Miguel, 2008. “Métodos Geoeléctricos para la Propección de Agua subterránea”. Universidad de Buenos Aires.
- Balek J., 1988. “Estimation of natural Groundwater Recharge”. NATO ASI Series.
- Barriga Diaz, Yeraldo Edinho, 2014. “Optimización de cables para ejecutar estudios geofísicos de polarización inducida caso Socabaya - Peñas región Arequipa”. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Calaméo - Geología - Cuadrangulo de La Yarada (37u), Tacna (37v), INGEMMET.
- Castro Soto, Cesar Daniel, 2015. “Caracterización geoeléctrica del sitio de disposición final prados de la montaña, ciudad de México”. UNAM.
- Castany G., 1975. “Prospección y Explotación de las Aguas Subterráneas”, OMEGA, España.
- Clark, Isabel y Harper, William. 2000. “Practical Geostatistics “ Ecosse North Amer Llc.
- Colquehuanca Quispe, Jannet Vaneza, 2015. “Estudio hidrogeológico en la cabecera de la subcuenca de Macuya, mediante prospección geofísica” Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Custodio Emilio, Llamas Ramón Manuel, 1975. “Hidrología Subterránea”.
- Diaz, Ericka, 2010. “Implementación del código zondres2d para la modelación directa e inversa de datos de tomografía de resistividad eléctrica 2d” OMEGA. UNAM.
- Dobrín M. B., 1975. “Introducción a la Prospección Geofísica”. OMEGA.

- Figuerola, J. C., 1974. “Tratado de Geofísica Aplicada”. LITOPRINT, Madrid.
- Hilasaca Jimenez , H., 2013 “Determinación de aguas subterráneas mediante el método eléctrico sondaje eléctrico vertical en el fondo de La Quebrada, Anexo de Calangui, Distrito de Paucarpata” Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Huillca Chuctaya, José Wilfredo, 2008. “Caracterización y modelamiento en 2D, del estudio geofísico de tomografía eléctrica en la represa de Huillacahua, distrito de Larcay, provincia de Puquio, departamento de Ayacucho”. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Informe técnico del Instituto Nacional de Recursos Naturales Intendencia de recursos hídricos Administración técnica del distrito de riego Locumba – Sama. 2006. Estudio Hidrogeológico del Valle Sama.
- Johnson E., 1975. “El agua subterránea y los pozos”, Inc. Saint Paul, Minnesota.
- Keller, G.V. and Frischknecht, F.C., 1966. “Electrical Methods in Geophysical Prospecting”. Pargamon Press, Oxford.
- Kirsch, Reinhard, 2006. “Groundwater Geophysics” SPRINGER.
- Liajov L.L. – Iakoubovskii V., 1980. “Exploración Eléctrica”. Editorial REVERTE Barcelona, España.
- Medina Sanchez, Gustavo Orlando, 2015. “Caracterización del acuífero den las pampas de Lanchas mediante el método de sondajes eléctricos verticales - Ica” Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Miranda Cruz, Rafael, 2012. “Caracteización geoeléctrica del subselo para la exploración de aguas subterráneas – Cerro Candela, distrito Imperial – provincia de Cañete – Departamento de Lima”. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Mita Ticona, Alejandro Paul, 2014. “Métodos de prospección eléctrica aplicados para el diseño de la represa de Jarumas II, región de Tacna, provincia Tarata, distrito Ticaco”. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Obando Rivera, Tupak. 2010. “Fundamentos y métodos de la Hidrogeología” Universidad autónoma de Nicaragua.

- Orellana Ernesto, 1982. “Prospección Geoeléctrica en Corriente Contínua”. PARANINFO, Madrid.
- Pérez Moreno, Nohelia del Rocío Sánchez Caro, Carlos Paúl, 2014. “Estudio hidrogeológico para el establecimiento de un campo de pozos a explotar por aguas de Mérida c.a., en la zona comprendida entre los sectores de Aroa ii y Prado Hermoso de el Vigía, municipio Alberto Adriani del estado Mérida”. Ingeniería Universidad de los andes Mérida Venezuela.
- Roy, A. Apparao, 1971. “Depth of investigation in direct current methods” The Society of Exploration Geophysicists.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. and Keys, D.A., 1976. “Applied Geophysics”. Cambridge University Press, Cambridge.
- Valdivia Sullca, Alexander Ronald, 2017. “Evaluación y caracterización de la calidad de aguas subterráneas del sector de Jaguay en la unidad hidrográfica 1354 de la cuenca Camaná” Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Valencia Lipa, Kelly Leonor, 2015. “Identificación de las características del suelo a través de los métodos de sondaje eléctrico vertical, refracción sísmica y calicatas en el poblado de Caravelí, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa” Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Valencia Miraval, Carlos Eduardo, 2018. “Caracterización y modelamiento 3D a través de tomografía eléctrica en el relleno sanitario de la ciudad de Chancay – Lima”. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

WEBGRAFÍA

- http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672013000200013
- http://www.wcu.edu/learn/departments-schools-colleges/cas/casdepts/gnr/gnr-resources/gnr-field-resources/ccefs/geophysics/resistivity
- https://es.wikipedia.org/wiki/Agua_subterr%C3%A1nea
- https://acuaclub.wikispaces.com
- http://trabajos-ing-agronomica.blogspot.pe
- https://sites.google.com/site/yogurdefabada/my-reading-list/transformaciones-geolgicas-debido-a-la-energa-externa-de-la-tierra/35-accin-geolgicas-de-las-agua-subterrneas-los-acuferos)
- http://lan.inea.org:8010/web/materiales/web/riego/anuncios/trabajos/webs/Iv%C3%A1n%20Gonzalo%20Tejero/los_acu%C3%ADferos_de_la_provincia_de.htm
- https://es.123rf.com/photo_67566661_las-capas-del-suelo-y-la-estructura-de-la-tierra-del-vector-acu%C3%ADfero.html
- http://carobella78.blogspot.com/2012/07/la-diversidad-nos-fortalece-tacna-es-un.html
- https://nubeminera.cl/estimacion-de-bloques-3d-mediante-krigeado-ordinario/
- https://acolita.com/geoestadistica-interpolacion-con-kriging/

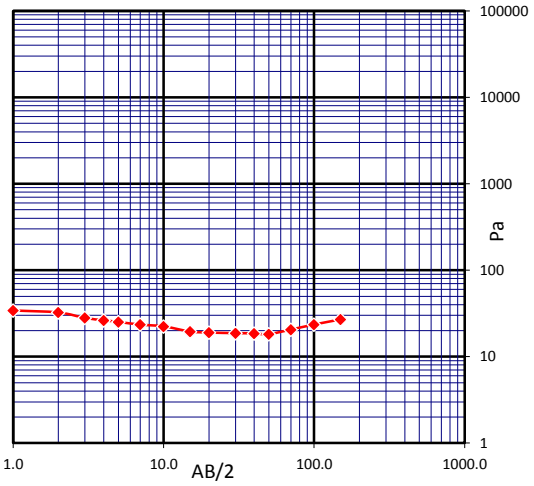
ANEXOS

ANEXOS

HOJAS DE LOS DATOS OBTENIDOS EN CAMPO DE CADA UNO DE SEVs.

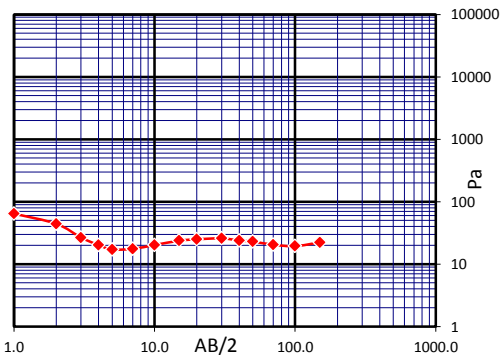
Anexo A1: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-01.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρ	OBSERVACIÓN
1.0	0.5	5.89	133.60	23.00	34	
2.0	0.5	24.74	101.00	77.00	32	
3.0	1.5	17.67	146.00	92.00	28	
4.0	1.5	32.33	40.80	50.00	26	
5.0	1.5	51.18	51.80	105.00	25	
7.0	1.5	101.4	8.80	38.00	23	
10	1.5	208.3	2.80	26.00	22	
15	5	137.40	7.40	52.00	20	
20	5	247.4	7.30	95.00	19	
30	15	176.7	20.00	188.70	19	
40	15	323.3	7.30	127.00	19	
50	15	511.8	12.00	337.10	18	
70	15	1014.5	7.40	365.00	21	
100	15	2082.6	2.60	230.00	24	
150	50	1374.4	2.90	147.90	27	



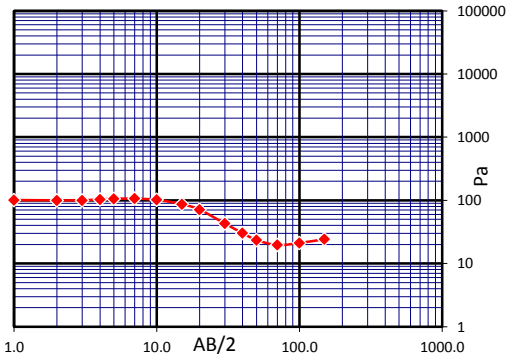
Anexo A2: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-02.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89	273.60	25.00	64	
2.0	0.5	24.74	38.50	21.50	44	
3.0	1.5	17.67	18.90	12.50	27	
4.0	1.5	32.33	5.00	8.00	20	
5.0	1.5	51.18	3.70	11.00	17	
7.0	1.5	101.4	1.60	9.20	18	
10	5	58.9	9.00	26.10	20	
15	5	137.40	10.40	60.00	24	
20	5	247.4	7.50	74.00	25	
30	15	176.7	9.10	62.00	26	
40	15	323.3	10.30	139.00	24	
50	15	511.8	5.40	120.00	23	
70	15	1014.5	9.10	450.00	21	
100	15	2082.6	3.60	385.00	19	
150	15	4700.6	0.40	84.00	22	



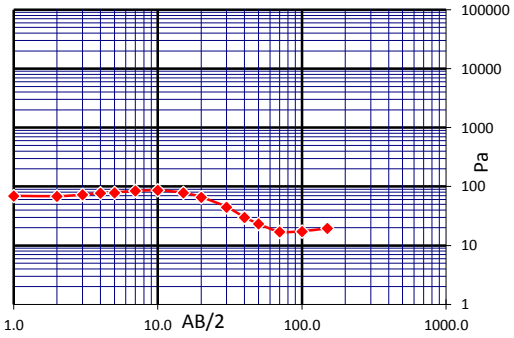
Anexo A3: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-03.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89	336.80	19.60	101	
2.0	0.5	24.74	137.60	34.00	100	
3.0	1.5	17.67	237.60	41.90	100	
4.0	1.5	32.33	162.00	50.50	104	
5.0	1.5	51.18	101.20	49.00	106	
7.0	1.5	101.4	59.01	56.20	106	
10	1.5	208.3	35.70	72.90	102	
15	5	137.40	57.30	90.30	87	
20	5	247.4	33.00	114.40	71	
30	15	176.7	24.80	101.80	43	
40	15	323.3	11.50	122.60	30	
50	15	511.8	5.80	125.80	24	
70	15	1014.5	2.30	118.70	20	
100	15	2082.6	1.80	177.50	21	
150	15	4700.6	1.90	366.80	24	



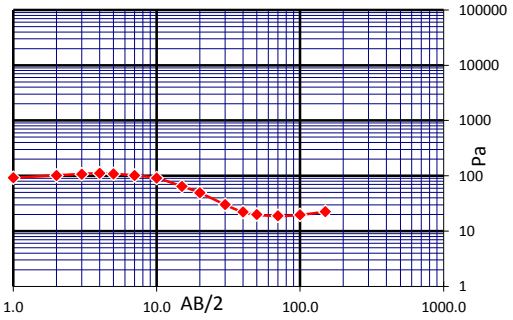
Anexo A4: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-04.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89	250.50	21.30	69	
2.0	0.5	24.74	48.30	17.50	68	
3.0	1.5	17.67	177.90	43.50	72	
4.0	1.5	32.33	16.80	7.05	77	
5.0	1.5	51.18	89.90	58.40	79	
7.0	1.5	101.4	45.10	54.50	84	
10	1.5	208.3	28.10	68.00	86	
15	5	137.40	63.60	112.00	78	
20	5	247.4	13.70	51.50	66	
30	15	176.7	9.30	36.60	45	
40	15	323.3	5.50	59.40	30	
50	15	511.8	3.80	84.00	23	
70	15	1014.5	0.80	47.40	17	
100	15	2082.6	0.26	31.20	17	
150	15	4700.6	0.37	89.30	19	



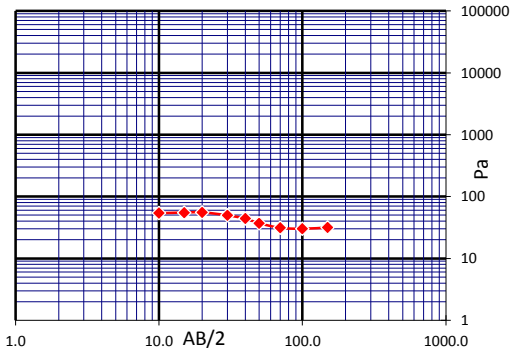
Anexo A5: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-05.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89	468.80	30.00	92	
2.0	0.5	24.74	201.70	49.00	102	
3.0	1.5	17.67	333.30	54.60	108	
4.0	1.5	32.33	120.60	35.10	111	
5.0	1.5	51.18	81.60	38.40	109	
7.0	1.5	101.4	35.80	35.90	101	
10	1.5	208.3	28.70	65.80	91	
15	5	137.40	22.10	47.00	65	
20	5	247.4	21.50	107.40	50	
30	5	561.6	5.80	108.00	30	
40	15	323.3	6.30	92.00	22	
50	15	511.8	6.30	162.00	20	
70	15	1014.5	1.30	69.90	19	
100	15	2082.6	1.40	147.80	20	
150	15	4700.6	1.40	290.00	23	



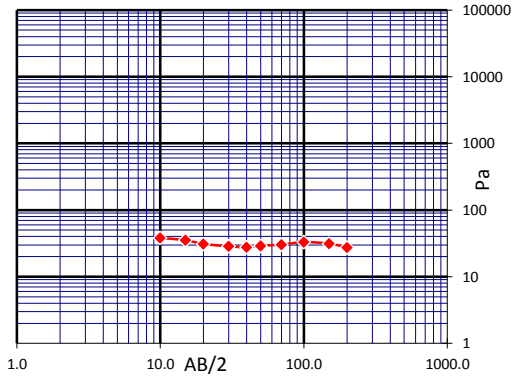
Anexo A6: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-06.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACIÓN
1.0	0.5	5.89				
2.0	0.5	24.74				
3.0	0.5	56.16				
3.0	1.5	17.67				
4.0	1.5	32.33				
5.0	1.5	51.18				
7.0	1.5	101.4				
10	1.5	208.3				
10	5	58.9	1.24	1.36	54	
15	5	137.40	1.80	4.50	55	
20	5	247.4	0.65	2.90	55	
30	5	561.6	0.38	4.30	50	
40	15	323.3	1.00	7.35	44	
50	15	511.8	2.10	29.00	37	
70	15	1014.5	5.40	175.10	31	
100	50	589	1.55	30.16	30	
150	15	4700.6	0.89	132.00	32	



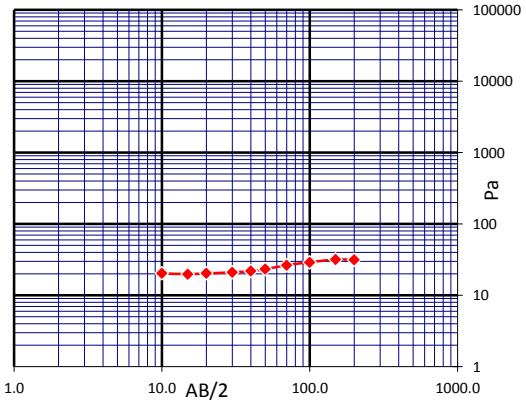
Anexo A7: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-07.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5					
2.0	0.5					
3.0	0.5					
3.0	1.5					
4.0	1.5					
5.0	1.5					
7.0	1.5					
10	1.5					
10	5	58.9	3.40	5.25	38	
15	5	137.40	0.63	2.45	35	
20	5	247.4	0.55	4.40	31	
30	5	561.6	1.19	23.40	29	
40	15	323.3	15.50	182.00	28	
50	15	511.8	7.48	132.00	29	
70	15	1014.5	0.71	23.80	30	
100	15	2082.6	0.64	40.40	33	
150	50	1374.4	0.31	13.60	31	
200	50	2474.0	0.22	20.00	27	



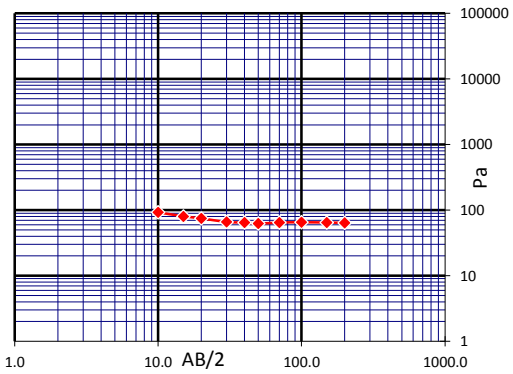
Anexo A8: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-08.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89				
2.0	0.5	24.74				
3.0	0.5	56.16				
3.0	1.5	17.67				
4.0	1.5	32.33				
5.0	1.5	51.18				
7.0	1.5	101.4				
10	1.5	208.3				
10	5	58.9	1.97	5.70	20	
15	5	137.40	0.65	4.50	20	
20	5	247.4	0.97	11.80	20	
30	5	561.6	0.55	14.70	21	
40	15	323.3	0.85	12.50	22	
50	15	511.8	1.20	26.40	23	
70	15	1014.5	1.70	65.10	26	
100	50	589	2.22	45.00	29	
150	50	1374.4	0.67	29.00	32	
200	50	2474	0.33	26.00	31	



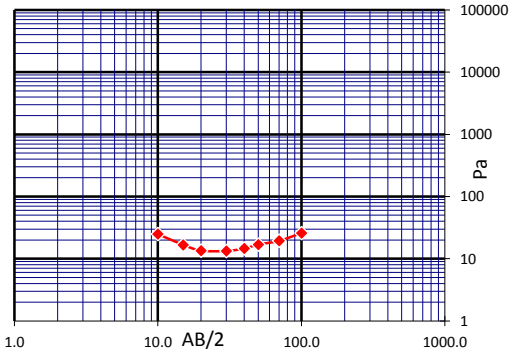
Anexo A9: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-09.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89				
2.0	0.5	24.74				
3.0	0.5	56.16				
3.0	1.5	17.67				
4.0	1.5	32.33				
5.0	1.5	51.18				
7.0	1.5	101.4				
10	1.5	208.3				
10	5	58.9	2.40	1.53	92	
15	5	137.40	0.48	0.82	80	
20	5	247.4	0.23	0.76	75	
30	15	176.7	0.43	1.15	66	
40	15	323.3	0.11	0.55	65	
50	15	511.8	0.28	2.29	63	
70	15	1014.5	0.65	10.20	65	
100	50	589	0.61	5.50	65	
150	50	1374.4	0.13	2.76	65	
200	50	2474	0.29	11.20	64	
250	50	3887	0.74	52.50	55	



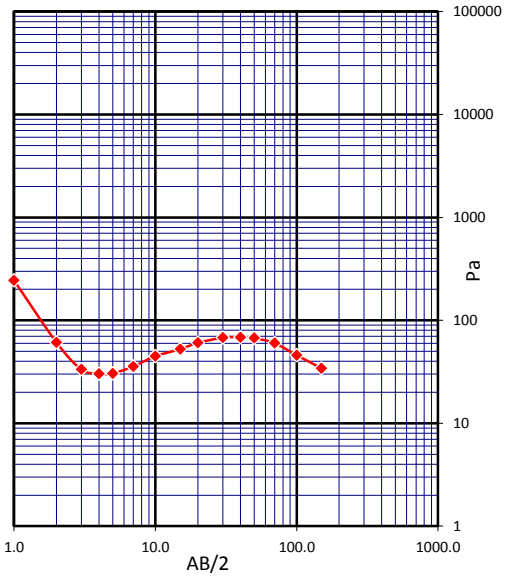
Anexo A10: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-10.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89				
2.0	0.5	24.74				
3.0	0.5	56.16				
3.0	1.5	17.67				
4.0	1.5	32.33				
5.0	1.5	51.18				
7.0	1.5	101.4				
10	1.5	208.3				
10	5	58.9	6.60	15.50	25	
15	5	137.40	2.10	17.20	17	
20	5	247.4	0.40	7.30	14	
30	5	561.6	0.38	16.00	13	
40	15	323.3	2.50	55.20	15	
50	15	511.8	1.70	51.40	17	
70	15	1014.5	0.20	10.40	20	
100	15	2082.6	0.05	4.00	26	



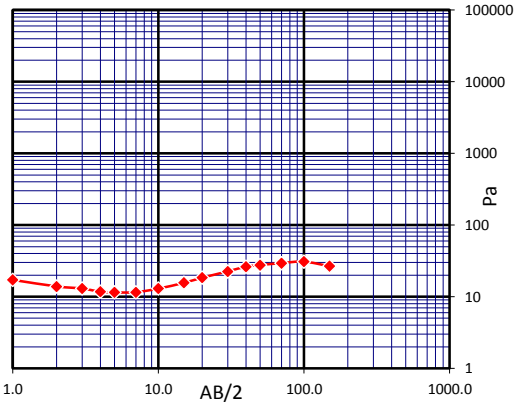
Anexo A11: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-11.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89	62.60	1.50	246	
2.0	0.5	24.74	6.80	2.75	61	
3.0	1.5	17.67	5.30	2.80	33	
4.0	1.5	32.33	4.50	4.80	30	
5.0	1.5	51.18	75.20	126.00	31	
7.0	1.5	101.4	79.40	225.00	36	
10	1.5	208.3	54.90	255.00	45	
15	5	137.40	47.10	123.00	53	
20	5	247.4	47.30	193.40	61	
30	15	176.7	65.40	170.00	68	
40	15	323.3	42.80	201.30	69	
50	15	511.8	10.80	82.00	67	
70	15	1014.5	22.90	386.90	60	
100	15	2082.6	7.40	335.00	46	
150	15	4700.6	0.73	100.00	34	



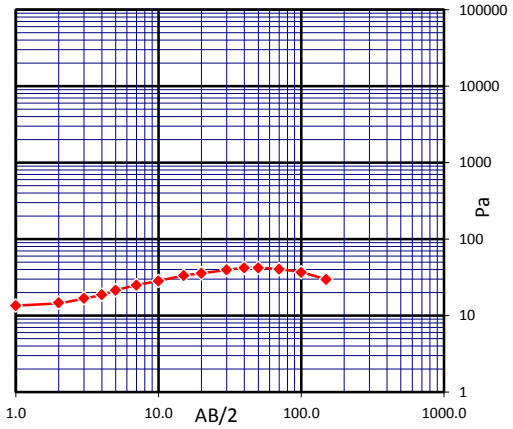
Anexo A12: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-12.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACIÓN
1.0	0.5	5.89	233.80	80.00	17	
2.0	0.5	24.74	67.70	120.00	14	
3.0	1.5	17.67	117.30	159.20	13	
4.0	1.5	32.33	45.20	124.10	12	
5.0	1.5	51.18	48.10	214.00	12	
7.0	1.5	101.4	23.10	202.10	12	
10	1.5	208.3	10.30	165.00	13	
15	5	137.40	18.96	166.20	16	
20	5	247.4	22.40	300.10	18	
30	15	176.7	43.50	340.00	23	
40	15	323.3	40.30	495.00	26	
50	15	511.8	31.40	580.00	28	
70	15	1014.5	9.60	330.00	30	
100	15	2082.6	4.60	310.00	31	
150	15	4700.6	0.37	65.00	27	



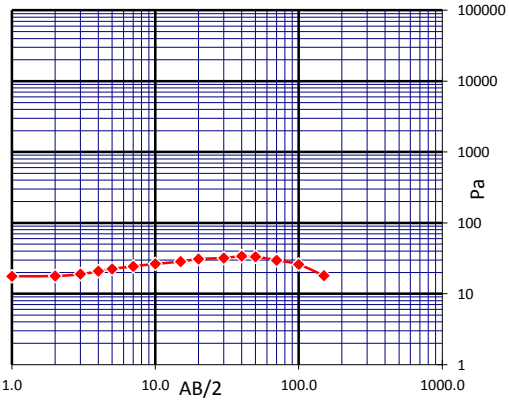
Anexo A13: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-13.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89	262.00	114.00	14	
2.0	0.5	24.74	100.60	170.00	15	
3.0	0.5	55.7	55.70	185.00	17	
4.0	1.5	32.33	130.90	226.00	19	
5.0	1.5	51.18	83.90	200.70	21	
7.0	1.5	101.4	19.30	78.20	25	
10	5	58.9	54.90	113.90	28	
15	5	137.40	28.70	118.30	33	
20	5	247.4	24.60	171.10	36	
30	5	561.6	12.10	172.00	40	
40	15	323.3	3.50	27.00	42	
50	15	511.8	18.30	222.50	42	
70	15	1014.5	6.04	152.00	40	
100	15	2082.6	1.40	79.20	37	
150	15	4700.6	0.30	47.50	30	



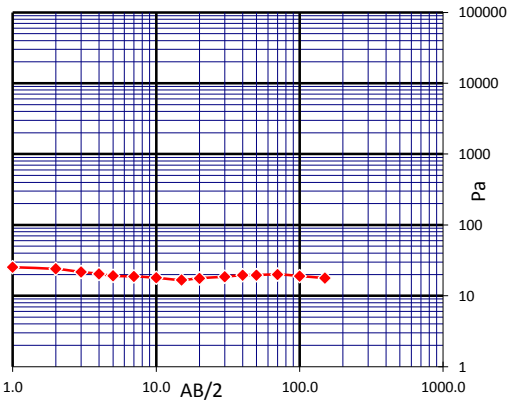
Anexo A14: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-14.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89	173.40	58.00	18	
2.0	0.5	24.74	27.90	39.00	18	
3.0	0.5	56.16	26.80	80.00	19	
4.0	1.5	32.33	45.40	71.00	21	
5.0	1.5	51.18	18.70	43.00	22	
7.0	1.5	101.4	25.10	105.00	24	
10	1.5	208.3	6.80	54.00	26	
15	5	137.40	6.80	33.00	28	
20	5	247.4	12.20	98.20	31	
30	5	561.6	4.30	76.00	32	
40	15	323.3	2.30	22.00	34	
50	15	511.8	10.00	155.00	33	
70	15	1014.5	6.37	218.00	30	
100	15	2082.6	2.10	170.00	26	
150	15	4700.6	0.44	115.00	18	



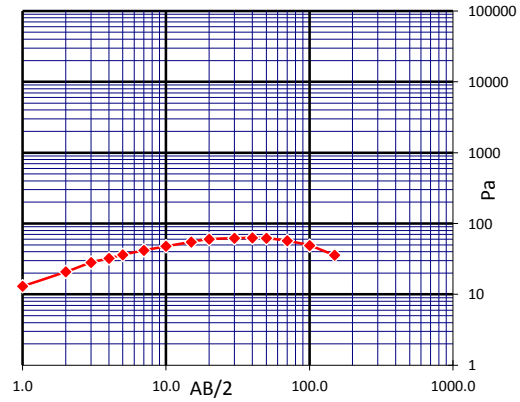
Anexo A15: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-15.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89	310.00	72.00	25	
2.0	0.5	24.74	164.70	170.00	24	
3.0	1.5	17.67	193.80	158.00	22	
4.0	1.5	32.33	69.50	110.00	20	
5.0	1.5	51.18	65.10	175.00	19	
7.0	1.5	101.4	8.70	47.00	19	
10	1.5	208.3	4.98	58.00	18	
15	5	137.40	6.30	52.00	17	
20	5	247.4	2.00	28.00	18	
30	15	176.7	17.30	165.00	19	
40	15	323.3	13.60	225.00	20	
50	15	511.8	4.20	110.00	20	
70	15	1014.5	7.50	380.00	20	
100	15	2082.6	4.10	450.00	19	
150	15	4700.6	0.61	161.90	18	



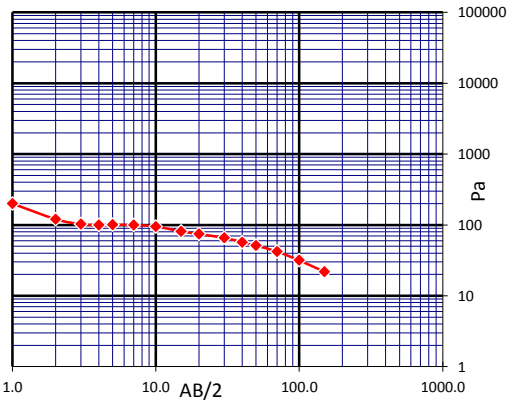
Anexo A16: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-16.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89	211.30	95.00	13	
2.0	0.5	24.74	71.60	85.00	21	
3.0	0.5	56.16	75.20	150.00	28	
4.0	1.5	32.33	159.40	160.00	32	
5.0	1.5	51.18	148.70	210.00	36	
7.0	1.5	101.4	84.40	205.00	42	
10	1.5	208.3	50.60	221.50	48	
15	5	137.40	70.00	175.00	55	
20	5	247.4	17.50	72.00	60	
30	5	561.6	7.60	69.00	62	
40	15	323.3	29.50	152.00	63	
50	15	511.8	18.60	153.00	62	
70	15	1014.5	5.90	104.97	57	
100	15	2082.6	1.60	68.10	49	
150	15	4700.6	0.80	105.20	36	



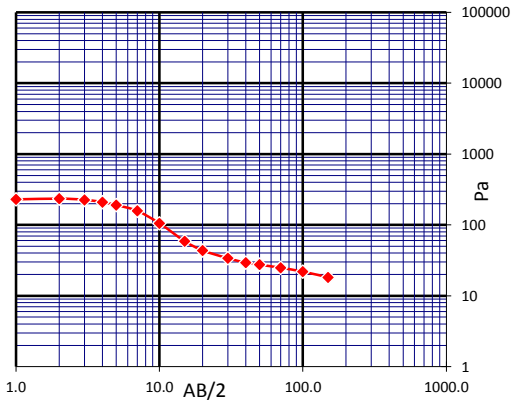
Anexo A17: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-17.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89	79.70	2.35	200	
2.0	0.5	24.74	154.10	31.60	121	
3.0	1.5	17.67	152.90	26.40	102	
4.0	1.5	32.33	92.60	30.00	100	
5.0	1.5	51.18	52.10	26.60	100	
7.0	1.5	101.4	29.40	29.90	100	
10	5	58.9	62.90	39.00	95	
15	5	137.40	27.90	47.30	81	
20	5	247.4	12.30	40.90	74	
30	5	561.6	3.20	27.40	66	
40	15	323.3	5.10	28.90	57	
50	15	511.8	3.10	31.10	51	
70	15	1014.5	1.10	26.50	42	
100	15	2082.6	2.20	145.00	32	
150	15	4700.6	0.83	178.80	22	



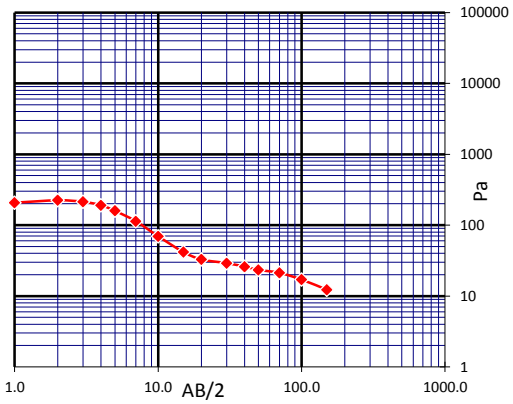
Anexo A18: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-18.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89	474.60	12.18	230	
2.0	0.5	24.74	218.40	23.00	235	
3.0	0.5	56.16	184.60	45.70	227	
4.0	1.5	32.33	222.20	34.20	210	
5.0	1.5	51.18	118.70	31.85	191	
7.0	1.5	101.4	49.30	31.60	158	
10	1.5	208.3	3.70	7.30	106	
15	5	137.40	12.50	29.00	59	
20	5	247.4	3.30	18.60	44	
30	5	561.6	0.80	13.20	34	
40	15	323.3	19.20	210.00	30	
50	15	511.8	15.90	294.90	28	
70	15	1014.5	1.60	65.00	25	
100	15	2082.6	2.95	278.80	22	
150	15	4700.6	1.90	487.40	18	



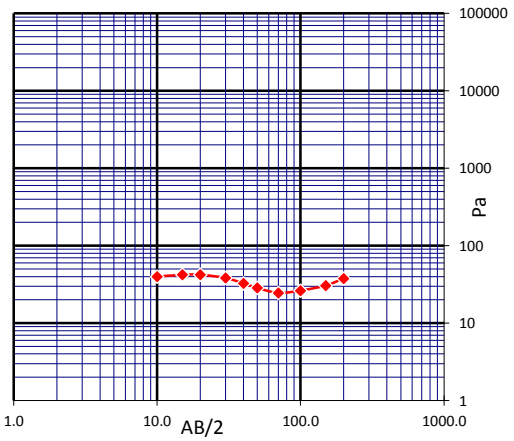
Anexo A19: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-19.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89	522.80	14.80	208	
2.0	0.5	24.74	429.30	47.25	225	
3.0	0.5	56.16	172.40	45.20	214	
4.0	1.5	32.33	235.90	39.80	192	
5.0	1.5	51.18	79.20	25.40	160	
7.0	1.5	101.4	9.60	8.55	114	
10	5	58.9	63.90	53.90	70	
15	5	137.40	7.30	24.00	42	
20	5	247.4	0.57	4.30	33	
30	5	561.6	0.87	16.80	29	
40	15	323.3	4.00	49.80	26	
50	15	511.8	2.20	48.20	23	
70	15	1014.5	6.90	330.00	21	
100	15	2082.6	0.25	30.60	17	
150	15	4700.6	1.30	500.00	12	



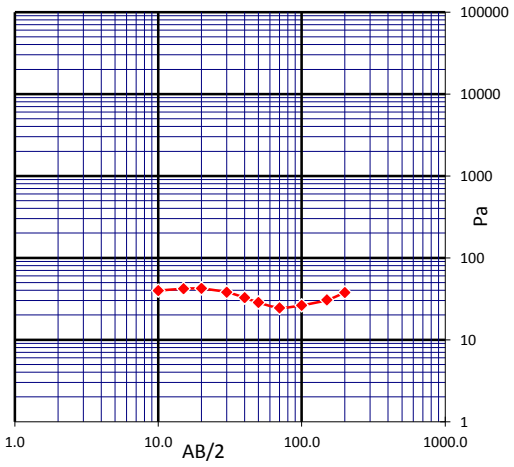
Anexo A20: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-20.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89				
2.0	0.5	24.74				
3.0	0.5	56.16				
4.0	1.5	32.33				
5.0	1.5	51.18				
7.0	1.5	101.4				
10	5	58.9	0.46	0.68	40	
15	5	137.40	0.41	1.34	42	
20	5	247.4	0.35	2.05	42	
30	5	561.6	0.34	5.00	38	
40	15	323.3	0.20	1.98	33	
50	15	511.8	0.15	2.70	28	
70	15	1014.5	0.15	6.20	25	
100	50	589	0.27	6.05	26	
150	50	1374.4	0.10	4.50	31	
200	50	2474	0.05	3.28	38	



Anexo A21: Hoja de Campo Geoleléctrica SEV-21.

AB/2	MN	K	ΔV	I	ρa	OBSERVACION
1.0	0.5	5.89				
2.0	0.5	24.74				
3.0	0.5	56.16				
4.0	1.5	32.33				
5.0	1.5	51.18				
7.0	1.5	101.4				
10	5	58.9	35.60	7.20	291	
15	5	137.40	3.90	2.82	190	
20	5	247.4	1.02	1.94	130	
30	15	176.7	3.40	6.97	86	
40	15	323.3	1.71	8.51	65	
50	15	511.8	2.14	18.58	59	
70	15	1014.5	0.66	12.70	53	
100	15	2082.6	0.03	1.13	55	
150	50	1374.4	1.89	41.50	63	
200	50	2474	1.21	42.00	71	



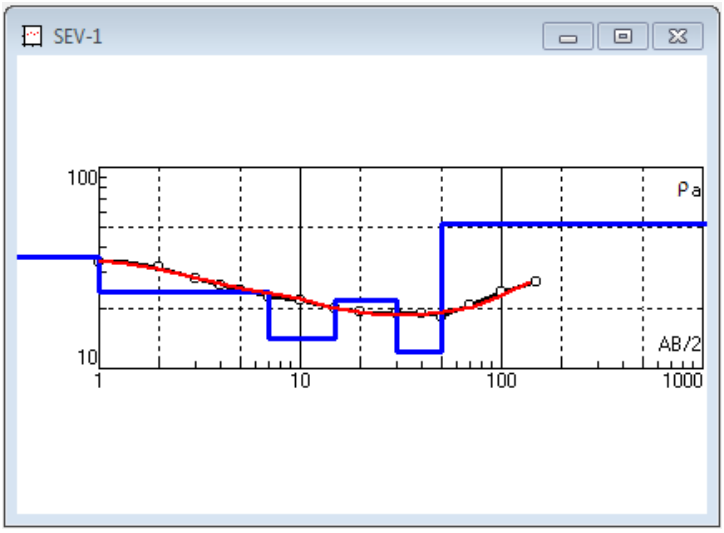
ANEXO B

CURVAS INTERPRETADAS

SEV - 1

Error = 2.62%

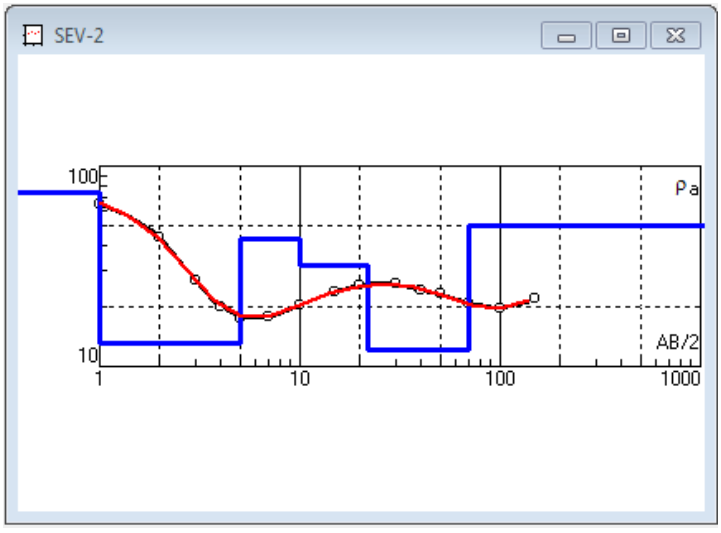
N	ρ	h	d
1	36	1	1
2	24	6	7
3	14	8	15
4	22	15	30
5	12	20	50
6	52		



SEV - 2

Error = 1.457%

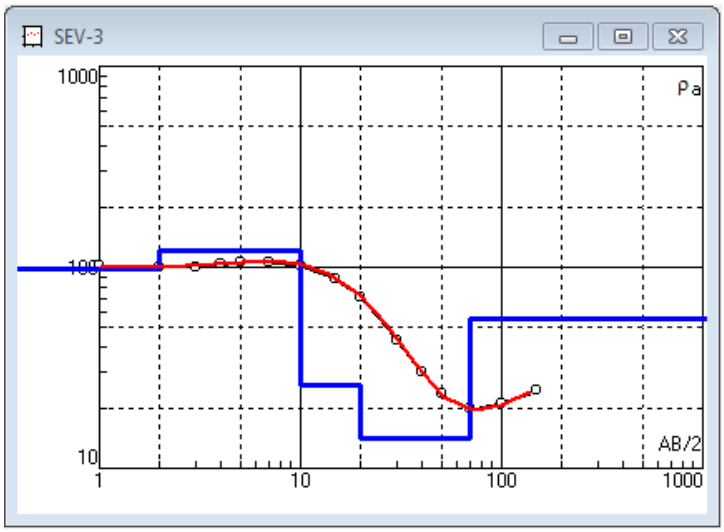
N	ρ	h	d
1	74	1	1
2	13	4	5
3	43	5	10
4	32	12	22
5	12	48	70
6	50		



SEV - 3

Error = 1.494%

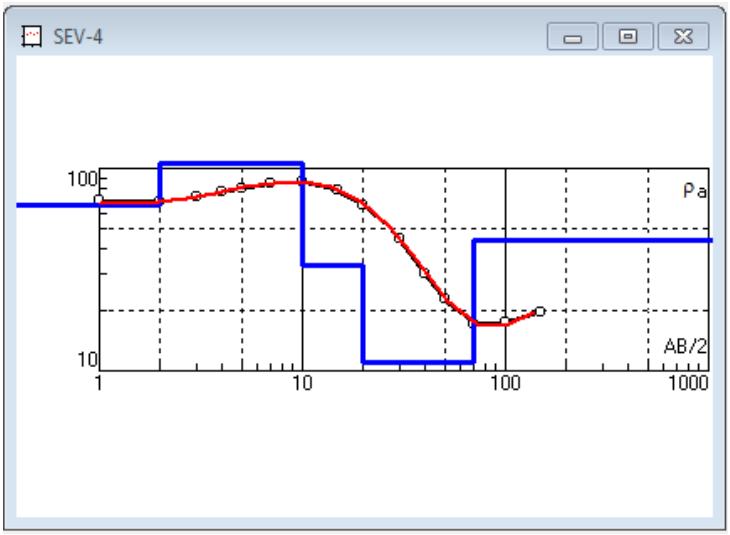
N	ρ	h	d	A
1	99	2	2	-
2	120	8	10	-1
3	26	10	20	-2
4	14	50	70	-7
5	55			



SEV - 4

Error = 1.791%

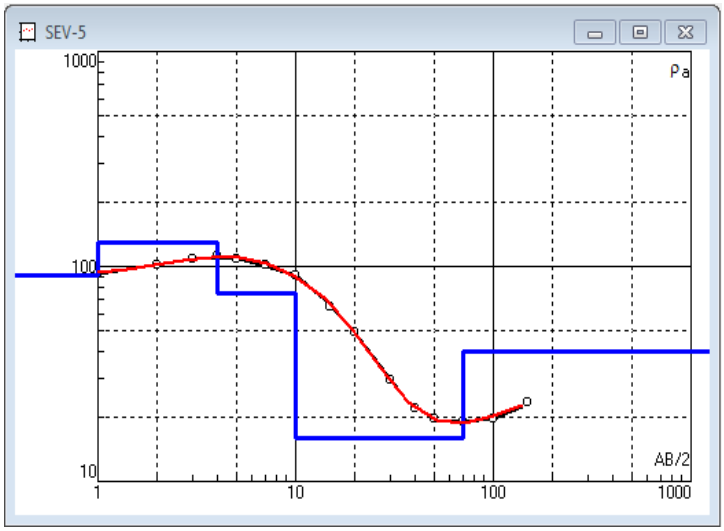
N	ρ	h	d	A
1	66	2	2	-
2	105	8	10	-1
3	33	10	20	-2
4	11	50	70	-7
5	44			



SEV - 5

Error = 1.19%

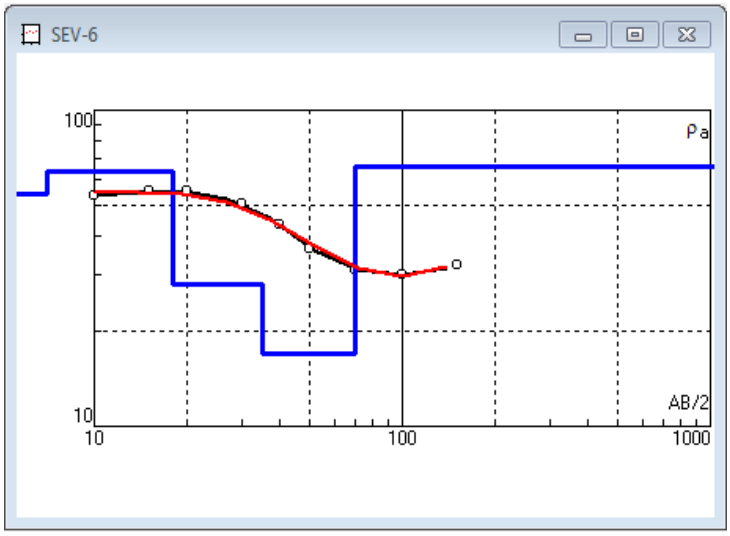
N	ρ	h	d
1	91	1	1
2	130	3	4
3	75	6	10
4	16	60	70
5	40		



SEV - 6

Error = 2.35%

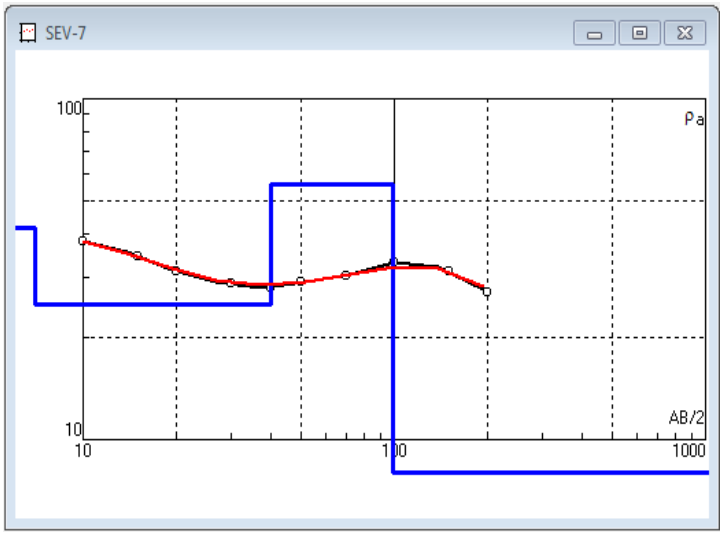
N	ρ	h	d
1	54	7	7
2	64	11	18
3	28	17	35
4	17	35	70
5	66		



SEV - 7

Error = 1.34...

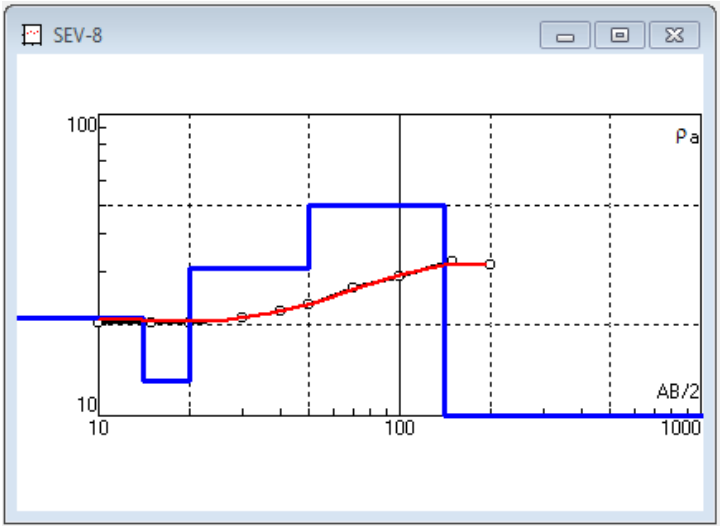
N	ρ	h	d
1	42	7	7
2	25	33	40
3	56	59	99
4	8		



SEV - 8

Error = 1.414%

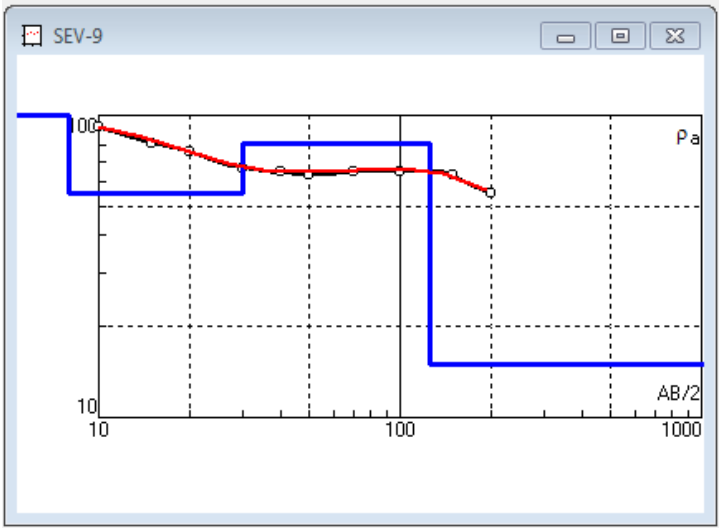
N	ρ	h	d	A
1	21	14	14	-1
2	13	6	20	-2
3	31	30	50	-5
4	50	90	140	-1
5	10			



SEV - 9

Error = 1.58...

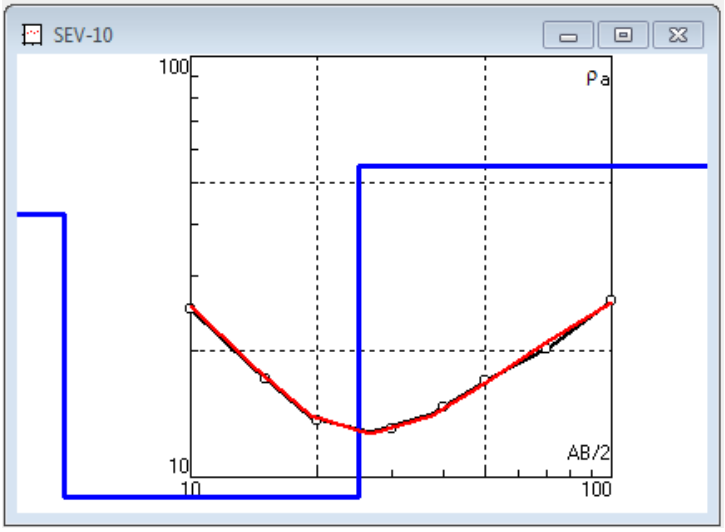
N	ρ	h	d
1	100	8	8
2	55	22	30
3	81	95	125
4	15		



SEV - 10

Error = 1.66%

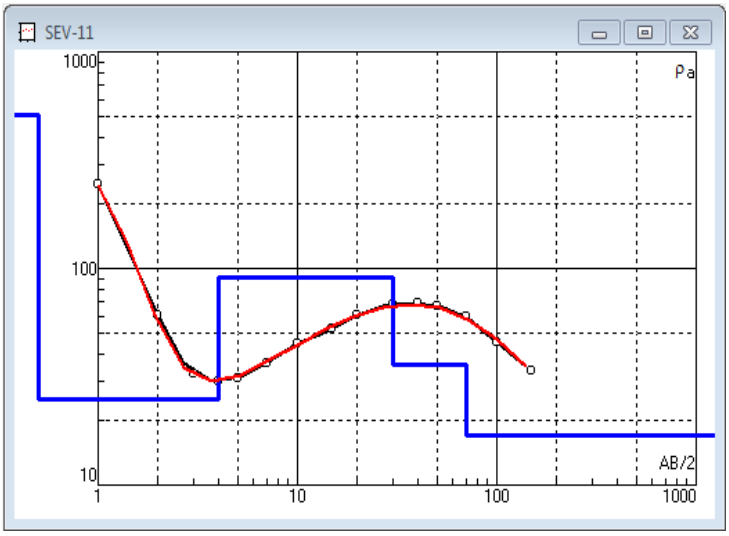
N	ρ	h	d
1	42	5	5
2	9	20	25
3	55		



SEV - 11

Error = 2.82%

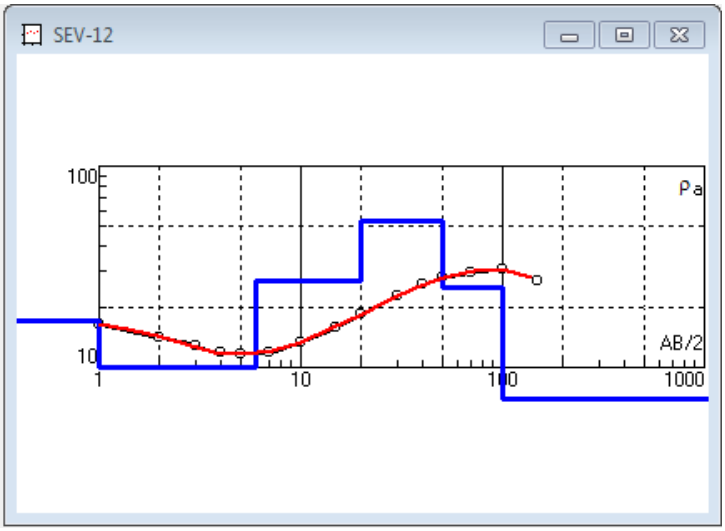
N	ρ	h	d
1	510	0.5	0.5
2	25	3.5	4
3	91	26	30
4	36	40	70
5	17		



SEV - 12

Error = 1.153%

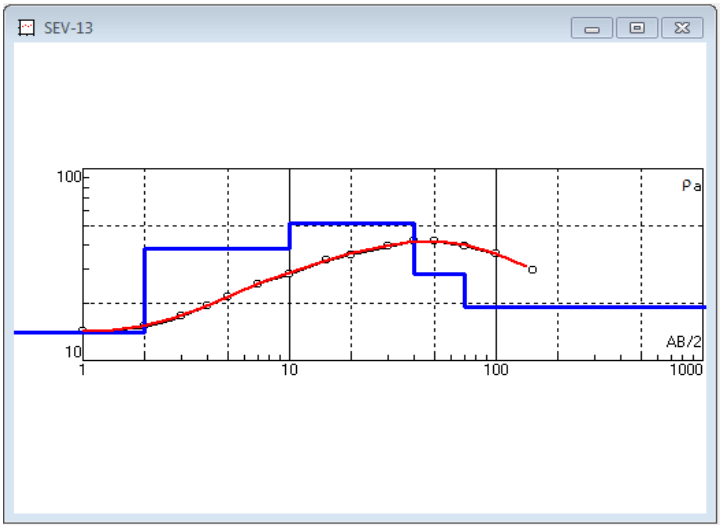
N	ρ	h	d	A
1	17	1	1	-
2	10	5	6	-
3	27	14	20	-2
4	53	30	50	-5
5	25	50	100	-1
6	7			



SEV - 13

Error = 1.063%

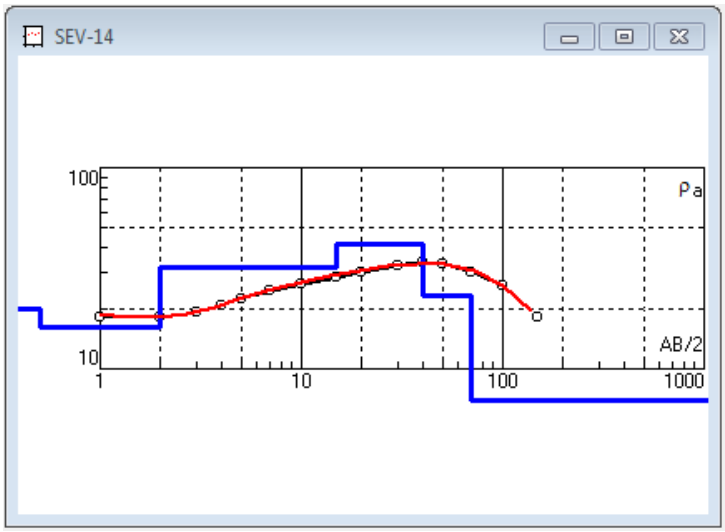
N	ρ	h	d	A
1	14	2	2	-
2	38	8	10	-1
3	52	30	40	-4
4	28	30	70	-7
5	19			



SEV - 14

Error = 1.84%

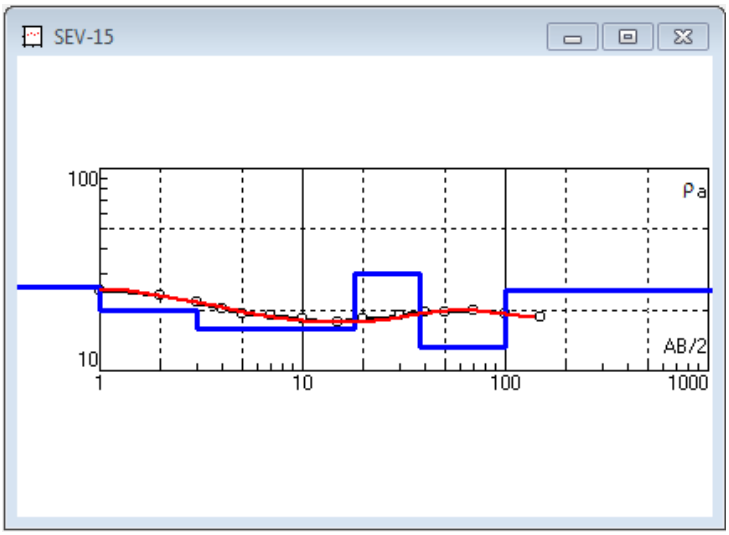
N	ρ	h	d	
1	20	0.5	0.5	-
2	16	1.5	2	
3	32	13	15	
4	42	25	40	
5	23	30	70	
6	7			



SEV - 15

Error = 1.61%

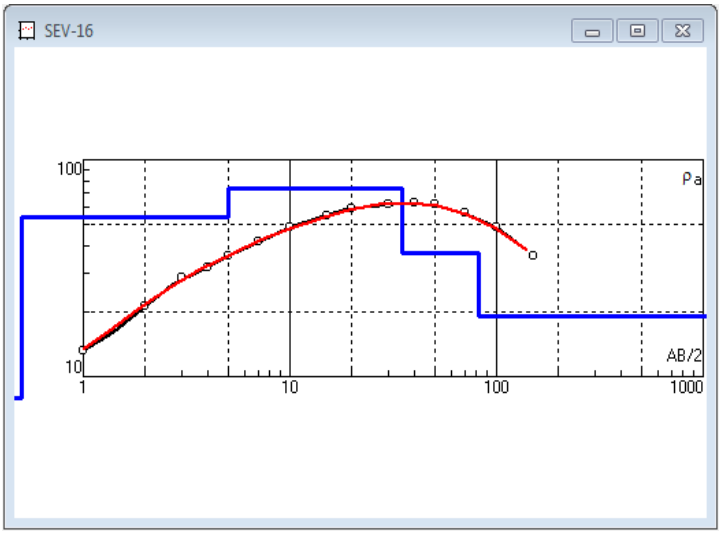
N	ρ	h	d
1	26	1	1
2	20	2	3
3	16	15	18
4	30	20	38
5	13	62	100
6	25		



SEV - 16

Error = 1.685%

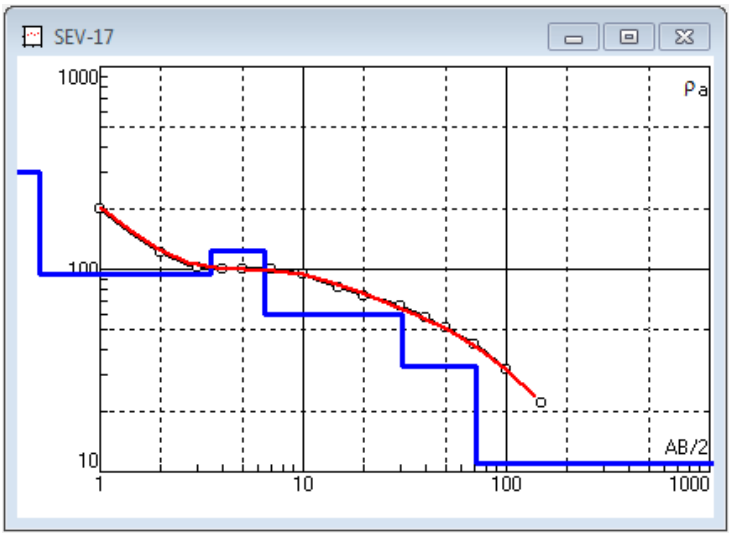
N	ρ	h	d
1	8	0.5	0.5
2	54	4.5	5
3	74	30	35
4	37	47	82
5	19		



SEV - 17

Error = 1.57%

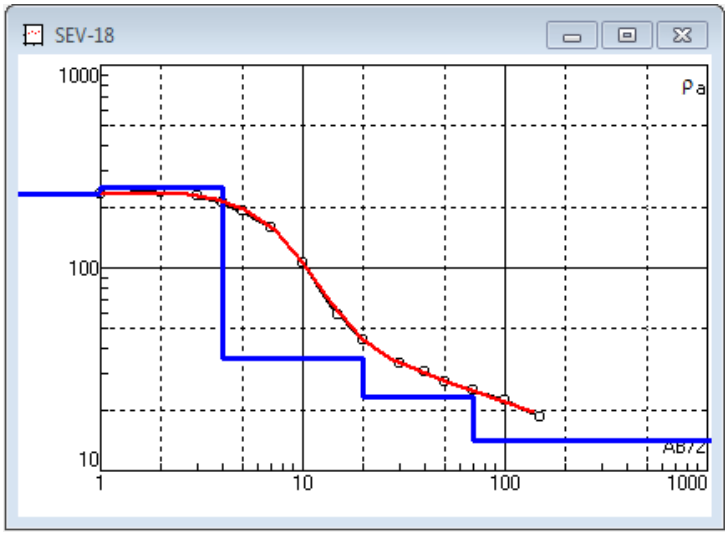
N	ρ	h	d
1	299	0.5	0.5
2	94	3	3.5
3	124	3	6.5
4	60	24	30.5
5	33	40	70.5
6	11		



SEV - 18

Error = 2.19%

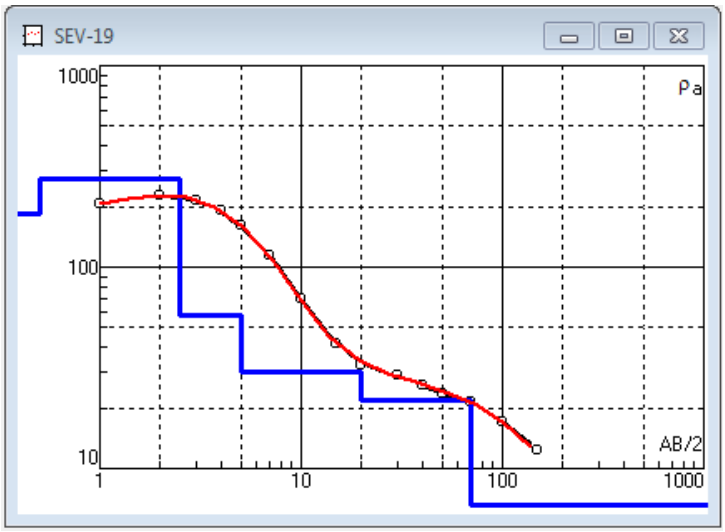
N	ρ	h	d
1	229	1	1
2	250	3	4
3	36	16	20
4	22	50	70
5	14		



SEV - 19

Error = 2.24%

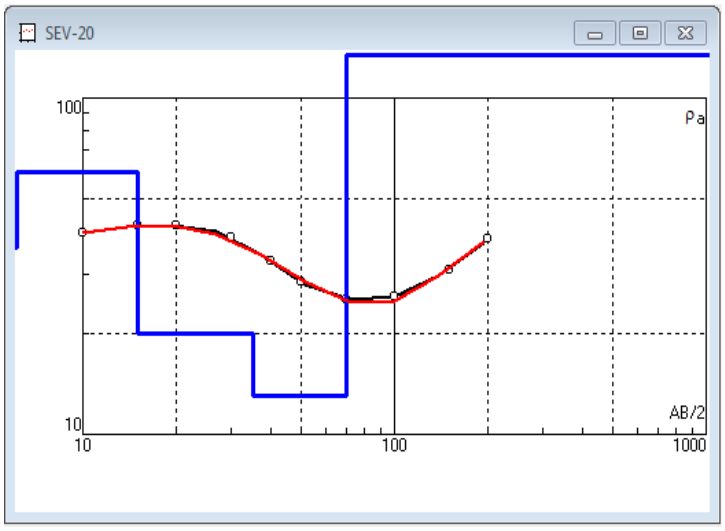
N	ρ	h	d	
1	183	0.5	0.5	
2	274	2	2.5	
3	58	2.5	5	
4	30	15	20	
5	23	50	70	
6	5			



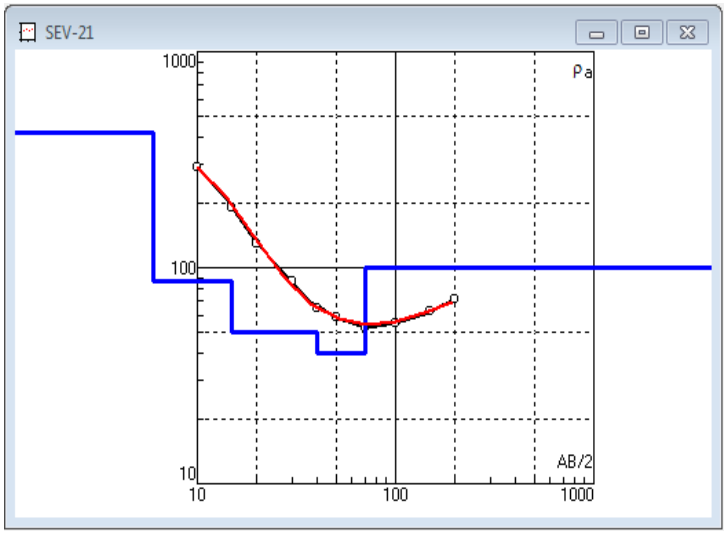
SEV - 20

Error = 1.33%

N	ρ	h	d
1	36	6	6
2	60	9	15
3	20	20	35
4	13	35	70
5	134		



SEV 21

Error = 2.08%

N	ρ	h	d
1	425	6	6
2	86	9	15
3	50	25	40
4	40	30	70
5	100